SÉRIE
DE LA GESTION
DE L'ÉNERGIE

3

A L'INTENTION
DES INDUSTRIES,
COMMERCES
ET INSTITUTIONS

Électricité

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada
Canada

PRÉFACE

L'art et la science de la gestion de l'énergie ont accompli des progrès remarquables au cours de la dernière décennie. La gestion de l'énergie est devenue une discipline sérieuse dans le cadre du processus de gestion de la plupart des entreprises qui connaissent le succès.

D'abord, au début des années 70, on a mis sur pied des programmes d'économie d'énergie afin de réduire la menace de pénurie d'énergie que pesait sur le Canada, de même que la dépendance du pays à l'endroit du pétrole étranger. Toutefois, la hausse vertigineuse des prix n'a pas tardé a donner une signification nouvelle à l'expression «économie d'énergie»: réduire le coût de l'énergie.

Nombre d'industries, de commerces et d'organismes publics ont relevé le défi et abaissé les coûts d'énergie jusque dans une proportion de 50%. On est ainsi arrivé à utiliser l'énergie de façon rationnelle, grâce à des mesures telles que des programmes d'information à l'intention du personnel, des moyens d'entretien plus à point, la simple élimination du gaspillage, et en mettant de l'avant des projets aptes à moderniser ou améliorer les installations et l'équipement.

Pour en arriver maintenant à économiser d'avantage l'énergie, il importe de mieux connaître la technologie et ses applications en plus d'avoir recours à des appareils à haut rendement énergétique.

À la demande du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, du Programme des groupes de travail sur la gestion de l'énergie dans les secteurs commercial et institutionnel, et d'associations professionnelles et commerciales intéressées, la Division de l'énergie industrielle du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources a élaboré une série de modules techniques portant sur la gestion de l'énergie.

Ces manuels aideront les gestionnaires et le personnel d'exploitation à découvrir les possibilités de gestion de l'énergie dans leur cadre de travail. On y trouve une quantité de renseignements pratiques, notamment des équations mathématiques, des renseignements généraux sur des techniques éprouvées, ainsi que des exemples concrets d'économie d'énergie.

Pour obtenir de plus amples renseignements concernant les modules figurant dans la liste qui suit ou la documentation utilisée dans le cadre des ateliers, y compris les études de cas, veuillez écrire à l'adresse suivante:

La Division de la gestion de l'énergie dans les
entreprises et dans le secteur gouvernemental
Direction des économies d'énergie
Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario)
K1A 0E4

Gestion de l'énergie et participation des employés
Évaluation de la consommation
Analyse financière énergétique
Comptabilité de la gestion énergétique
Récupération de la chaleur perdue
1 Isolation thermique des équipements
2 Éclairage
3 Électricité
4 Moteurs électriques économiseurs d'énergie
5 Combustion
6 Appareillage de chaufferie
7 Fours, sécheurs et fours de cuisson
8 Réseaux de vapeur et de condensat
9 Chauffage et refroidissement (vapeur et eau)
10 Chauffage, ventilation et conditionnement d'air
11 Refroidissement et pompes à chaleur
12 Réseaux de distribution d'eau et d'air comprimé
13 Ventilateurs et pompes
14 Compresseurs et turbines
15 Mesures et contrôle
16 Régulation automatique
17 Manutention des matériaux et transport sur place
18 Point de vue architectural
19 Accumulation thermique
20 Guide de planification et de gestion

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies associées
et autres libraires

ou par la poste auprès du

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M91-6/3F ISBN 0-662-93325-7

Prix sujet à changement sans préavis

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire un enregistrement sur support magnétique ou autre pour fins de dépistage ou après diffusion, sans autorisation écrite préalable des Services d'édition, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, Canada K1A 0S9.

TABLE DES MATIERES

Page

INTRODUCTION

But 1
Contenu 1

NOTIONS DE BASE

Courant continu (C.C.) 3

Courant alternatif (C.A.) 4

Distribution de l'énergie électrique 7

Facteur de puissance (p.f.) 9
Correction du facteur de puissance 9
Exemple de calcul 10

Chutes de tension 12

Mesure de la consommation et tarifs 12
Consommation d'énergie électrique 13
Demande 13
Le multiplicateur de compteur 14
Tarification — Considérations d'ordre général 15
Analyse des notes d'électricité 16
Compteurs du fournisseur et compteurs maison 17

Gestion et contrôle de la demande 17
Profil quotidien de charge 17
Facteur de charge 17
Décalage et délestage de charge 17
Exemple de décalage de charge 17
Exemple d'épargnes 18
Tarif à tranche variables 18
Analyse du profile de charge 20

Emmagasinage thermique 20

Systèmes d'énergie jumelée 20

Transformateurs 21
Charge 22
Épargnes 21

Moteurs 23
Charge 24
Efficacité 25
Cyclage de service 25
Efficacité de fonctionnement et entretien 25

Éclairage 25

Énergie photovoltaïque 25

Méthodes de préparation de bilans énergétiques 26
Collecte des renseignements 26
Bilan d'inspection sur place 27
Bilan de diagnostic 27

ÉQUIPEMENT 28

Compteurs 28
Compteurs d'entretien 28
Compteurs maison 29
Compteurs de consommation d'énergie ou wattheuremètres 29
Compteurs de maximum 29
Indicateurs d'impulsions 29
Transformateurs d'instruments 30

Conducteurs 30
Dimensions des conducteurs 30
Isolation 31

Transformateurs 32
Refroidissement par immersion dans un liquide 32
DPC 32
Transformateurs secs 32
Pertes de transformateur 32

Moteurs 33
Protection 33
Contrôle de la vitesse 33
Entraînement à vitesse réglable 33

Électrotechniques 34

Choix du réchaud électrique 36

Condensateurs 36

Équipement de contrôle de la charge 37

Alimentation ininterrompue et alimentation d'urgence 37

OCCASIONS FAVORABLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 39

Occasions favorables dans le milieu 39

Exemples détaillés d'occasions d'économies dans le milieu 39

Sommaire de la facturation 39
Tarif 40
Considerations sur l'efficacité 40

Occasions favorables à bon compte 43
Exemples détaillés d'occasions à bon compte 43

Occasions favorables de modernisation 44
Exemples détaillés d'occasions favorables de modernisation 44
L' installation d'un système de contrôle d'économie d'énergie 45

ANNEXES

A Glossaire
B Tableaux
C Tableaux de conversion
D Feuilles de travail

INTRODUCTION

Au cours des cent dernières années, l'impact de l'électricité s'est fait sentir dans tous les aspects de la vie des Canadiens. Elle apporte le confort et la sécurité au foyer, à l'école, au bureau, à l'usine, dans les institutions publiques, les hôpitaux, dans les lieux de divertissements et de récréation, soit en contrôlant d'autres formes d'énergie, soit en fournissant l'énergie nécessaire à l'éclairage, au chauffage et à une vaste gamme d'appareils électriques.

Au début du XXe siècle, l'avènement du moteur électrique a considérablement augmenté la productivité de nos industries en remplaçant dans la plupart des cas des machines à vapeur ou des roues à aubes encombrantes. A l'approche du XXIe siècle, l'utilisation accrue de l'électricité et de ses technologies, comme le laser et l'équipement à micro-ondes, de pair avec l'informatisation industrielle et la robotique, révolutionne les industries qui veulent rester efficaces, productrices et de ce fait, rester dans la course dans un monde de plus en plus exigeant. En même temps, le développement d'autres sources d'énergie se poursuit. Des équipements d'énergie photovoltaïque et éolienne apportent l'électricité nécessaire à des fins particulières dans des endroits reculés, comme la recharge des batteries de véhicules et d'embarcations.

But

Le présent module de gestion de l'énergie a pour but d'aider les préposés à l'entretien et au fonctionnement des réseaux électriques de saisir les occasions favorables d'économie d'énergie qui peuvent contribuer à l'amélioration de l'efficacité de l'exploitation et du confort et à la diminution des coûts d'exploitation et de l'énergie elle-même.

L'objet de cette élude comprend les cinq thèmes suivants :

- Revue des principes les plus pertinents de la gestion fondamentale de l'énergie applicable à un grand nombre d'équipements et de réseaux électriques.
- Examen des facteurs qui contribuent le plus à la réduction des pertes de réseau et du coût global de l'électricité.
- Description des équipements constituant les réseaux électriques utilisés dans les secteurs commerciaux, industriels et les grandes institutions.
- Identification d'éventuelles occasions favorables d'économie d'énergie.
- Examen de feuilles de travail qui aident aux calculs d'énergie et d'économie des coûts.

Contenu

Suit une description du contenu du présent module :

- Les *Notions de base* contiennent un exposé de la théorie de l'électricité, de la consommation et des tarifs. On y traite aussi de certains facteurs qui aideront très probablement à améliorer l'efficacité d'une installation électrique; enfin, on revoit les calculs de base nécessaires à l'évaluation de l'efficacité d'exploitation des principaux organes d'un réseau électrique.
- La section *Équipement* donne une vue d'ensemble des principaux types d'équipement électrique, l'étendue de leur capacité, les avantages et inconvénients de chaque type.
- Dans les *Occasions favorables d'économie d'énergie*, on énumère les considérations à retenir dans les bilans ou diagnostics énergétiques. Des exemples élaborés de calculs d'énergie illustrent certaines formules de quantification des pertes possibles d'énergie et les avantages des mesures correctives.
- Les *Annexes* contiennent une liste d'abréviations, des tableaux, des feuilles de travail et un glossaire.

NOTIONS DE BASE

La fonction de base de tout réseau électrique est de transporter l'énergie d'une source de production à une application en bout de ligne. Pour l'usager, l'énergie contenue dans l'électricité n'a pas autant d'importance que la façon dont elle peut se transformer en lumière, en chaleur et en énergie destinée aux appareils électriques. Au coeur même de ce transfert d'énergie électrique entre la source d'approvisionnement et l'application se trouve le mouvement du courant électrique.

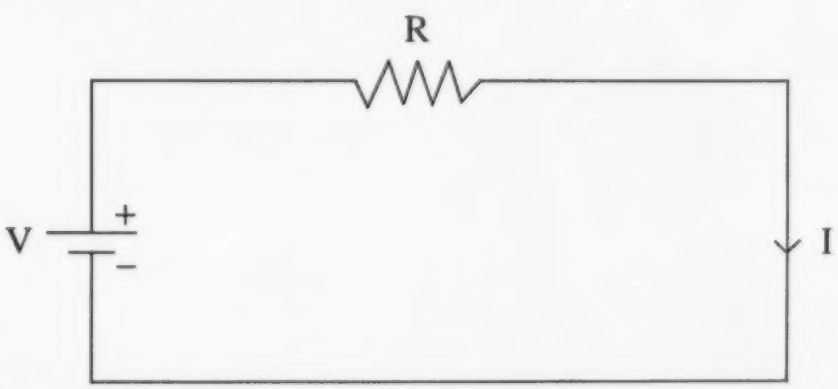
Un circuit électrique est un trajet que parcoure un flux électrique. Ce circuit se compose d'un fil conducteur, soit une substance dont la structure métallique contient des électrons plus ou moins espacés qui peuvent se déplacer ou <<conduire>> l'électricité. Pour qu'un flux électrique se déplace dans un conducteur entre deux points, il faut qu'il existe entre ces deux points une différence de potentiel mesurée en volts.

Courant continu (C.C.)

Le courant continu est un courant électrique qui se déplace constamment dans la même direction. Il peut être fixe ou pulsatoire. Selon la loi d'Ohm, la quantité de ce courant fixe s'écoulant dans un circuit est égale à la tension divisée par la résistance du circuit:

$I = V/R$

Dans cette formule: I est le courant (A)
V est la tension (V)
R est la résistance (Ω)



Circuit C.C.
Illustration 1

Dans cette représentation simplifiée d'un circuit, la puissance est le produit du courant par la tension:

$P = V \times I$
où
P = Puissance (W)

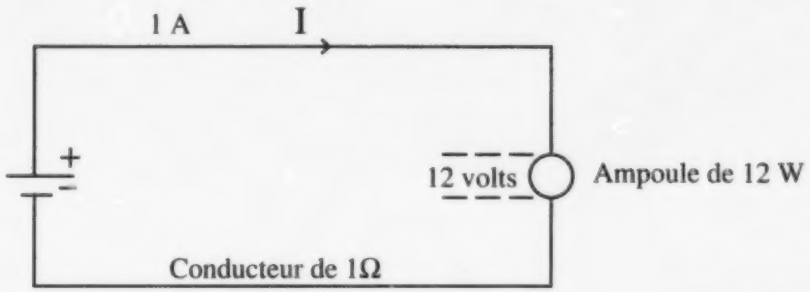
La puissance dissipée peut aussi s'exprimer sous cette forme:

$P = I^2 \times R$

Cette équation montre que la puissance dissipée dans un segment du conducteur est égale au produit du carré du courant multiplié par sa résistance. Afin de limiter les pertes électriques dans les circuits (ordinairement sous forme de chaleur) pendant le mouvement d'une quantité donnée d'électricité, il faut maintenir la tension à un niveau le plus élevé possible pour que le courant soit aussi faible que possible.

Ainsi, une lampe de 12 watts branchée à une source de 12 volts fait passer un courant de 1 ampère (A).

P/V = 12/12 = 1 A

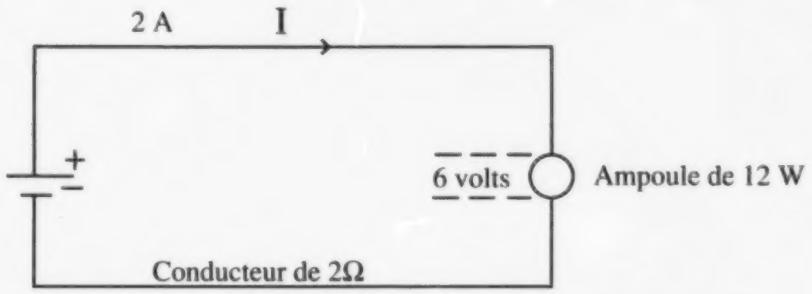


Pertes = I^2R = 1watt

Illustration 2a

De la même façon, une lampe de 12 watts branchée à une source de 6 volts consomme un courant électrique de 2 ampères.

P/V = 12/6 = 2 A



Pertes = I^2R = 4 watts

Illustration 2b

En supposant que le conducteur a une résistance de 1 ohm, la perte de puissance dans chaque cas est:

à 12 volts:
$I^2 \times R$
$= 1^2 \times 1$
= 1 W; et

à 6 volts:
$I^2 \times R$
$= 2^2 \times 1$
= 4 W

On constate dans les équations précédentes qu'en divisant la tension, on quadruple la perte de chaleur dans le fil.

Dans un circuit à courant continu, l'énergie est le produit de la puissance (P) multipliée par la durée (T) de consommation. Ce résultat s'exprime en watt-heures (Wh) ou kilowatt-heures (kWh).

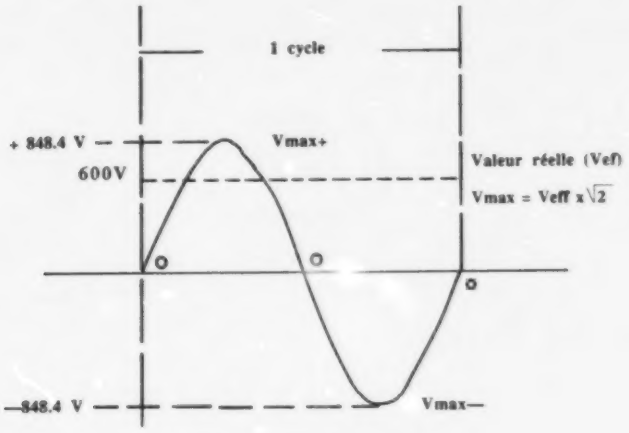
Énergie = P x T = Watt-heures

Courant alternatif (C.A.)

Comme son nom l'indique, le courant alternatif circule dans une direction puis dans l'autre; l'inversion du courant suit un rythme régulier.

Les services publics livrent à leurs clients l'énergie électrique sous forme de courant alternatif surtout parce qu'il est facile d'élever et d'abaisser la tension alternative. On élève la tension de l'électricité avant de l'acheminer à des distances considérables (de manière à atténuer les pertes de transmission) puis on l'abaisse dès qu'elle atteint la sous-station de distribution d'où elle est dirigée vers les domiciles, les bureaux, les usines, etc..

Le courant alternatif oscille entre zéro et une valeur positive maximale (Vmax), elle revient à zéro puis s'abaisse à une valeur négative maximale avant de revenir à zéro ou commencer un nouveau cycle. Au Canada, la tension décrit 60 cycles complets par seconde.



Onde de courant alternatif

Illustration 3

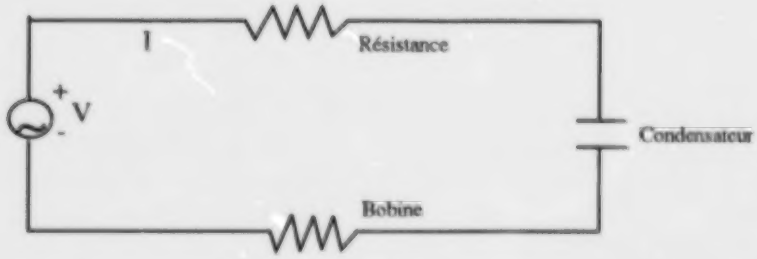
La valeur efficace (Veff) ou valeur RMS $\sqrt{2}$ de la tension figurant sur la courbe (ill. 3) est égale à environ 71 pour cent de la tension maximale. Le même rapport existe dans les circuits à courant alternatif. Cette valeur efficace de la tension multipliée par la valeur efficace du courant donne le même effet thermique que dans un circuit à courant continu. De façon générale, les voltmètres et les ampèremètres sont gradués en valeurs efficaces de tension et de courant. Ainsi, dans un édifice ou une usine où la tension efficace ou nominale est de 600 volts, la tension maximale est:

$600 \times \sqrt{2}$
$= 600 \times 1.414$
$= 848.4$ volts

Le courant qui circule dans un circuit C.A. (ill.4) est égal à la tension divisée par la valeur totale de l'opposition au mouvement appelée impédance. Cette impédance représente la résistance du fil et toutes les autres composantes comme les condensateurs, les enroulements et tout ce qui fait partie du circuit.

Aussi:
$I = V/Z$

où
I est le courant (A)
V est la tension (V)
Z est l'impédance ( )



Circuit C.A. typique
Illustration 4

Quand un courant électrique ne contient que des résistances, la valeur maximale du courant coïncide avec la valeur maximale de la tension. En pratique, la plupart des circuits contiennent des composantes qui font que le courant et la tension sont <<déphasés>>. En tels cas, la valeur maximale du courant n'est pas atteinte au même instant. Seul le courant qui est en phase avec la tension peut produire du travail utile. Par conséquent. la puissance dans un tel circuit s'établit comme suit:

$P = V \times I \times p.f.$

où

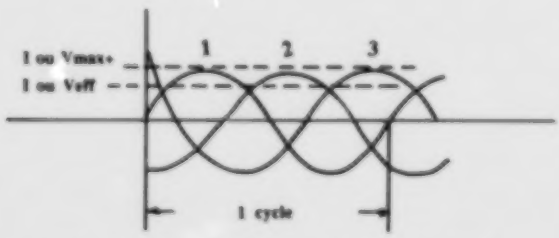
P est la puissance (W)
p.f. est le facteur de puissance
(Il est question du facteur de puissance dans la section suivante.)

Quand les lignes monophasées ne suffisent pas au transport de la quantité d'énergie nécessaire, on a ordinairement recours au système de distribution triphasée. L'illustration 5 montre les trois courbes sinusoïdales produites par une génératrice triphasée ordinaire. Dans les circuits de ce genre où les trois phases sont compensées, la puissance s'exprime par la formule:

$P = V \times I \times \sqrt{2} \times p.f.$
dans laquelle
P est la puissance (W)
V est la tension de ligne (V)
I est le courant de ligne (A)
p.f. est le facteur de puissance
$\sqrt{2}$ est une constante propre aux courants et aux tensions des circuits triphasés.

Exemple: la puissance dissipée dans un circuit triphasé de 600 volts où circule un courant de ligne de 20 ampères à un facteur de puissance de 80 pour cent se calcule comme suit:

$P = 600 \times 20 \times \sqrt{2} \times 0.8 = 16\,627$ watts ou 16,6 kW.



Ondes sinusoïdales d'un générateur triphasé
Illustration 5

Distribution de l'énergie électrique

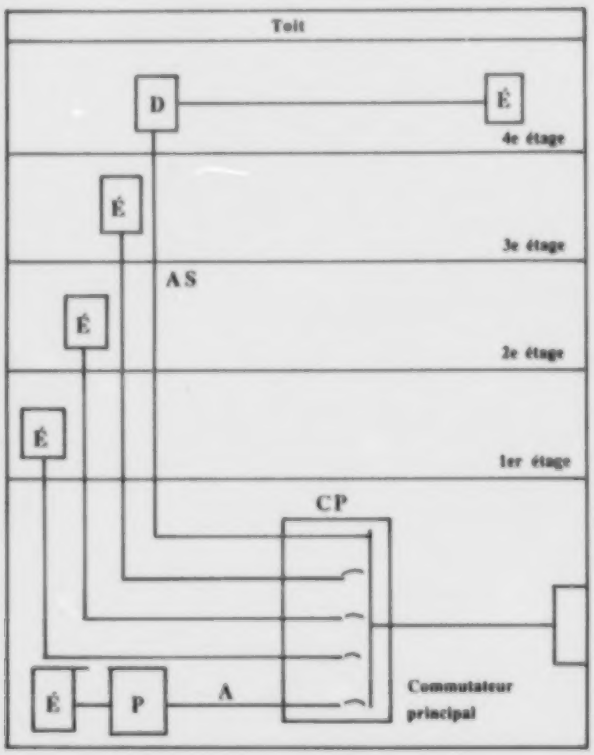
L'énergie électrique provenant du réseau de distribution du fournisseur est normalement acheminée vers un sous-station constituée d'un ou de plusieurs transformateurs et d'équipements auxiliaires comme des commutateurs et divers mécanismes de protection.

A la sous-station, on abaisse la tension à un niveau utile pour une multitudes d'applications à tension moins élevée. A partir de la sous- station, l'énergie électrique est dirigée vers les maisons, les bureaux, les édifices et les usines alimentés par le réseau local de distribution électrique.

L'électricité pénètre dans un édifice ou une usine par une entrée de service composée d'interrupteurs, d'équipement de protection et d'un tableau de distribution et de commande qui répartit l'énergie entre les blocs de circuits électriques à l'intérieur de l'édifice. Chacun de ces circuits doit être protégé par un fusible de taille appropriée ou par un coupe-circuit. C'est en passant dans des conducteurs électriques appelés câbles d'alimentation que l'électricité finit par atteindre les divers appareils électriques. Souvent, il est plus économique d'acheminer l'énergie vers un ou plusieurs tableaux auxiliaires à partir desquels des câbles d'alimentation secondaire peuvent transporter les charges appropriées. L'illustration 6 représente un système simplifié de distribution à l'intérieur d'un édifice.

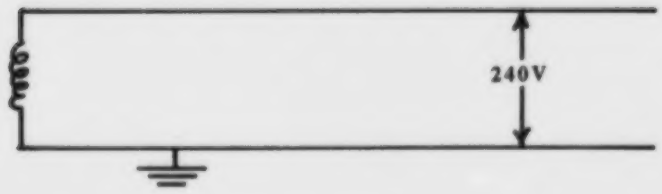
L'illustration 7 montre les tensions d'utilisation les plus répandues au Canada. Les expressions Y et delta se rapportent à la disposition spécifique des circuits de distribution.

Note - Les gros consommateurs d'électricité comme les usines et les grands édifices utilisent parfois des tensions supérieures en raison de l'importance des charges d'électricité nécessaires. En tels cas, on utilise souvent des tensions de l'ordre de 12 et 25 kilovolts (kV).



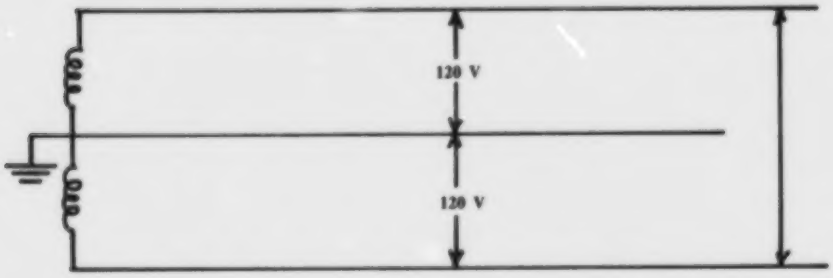
Légende:
A: Alimenteur
É: panneau d'éclairage
CP: Commutateur principal
PA: panneau d'alimentation
D: dérivée
AS: alimenteur secondaire

Exemple de disposition
Illustration 6



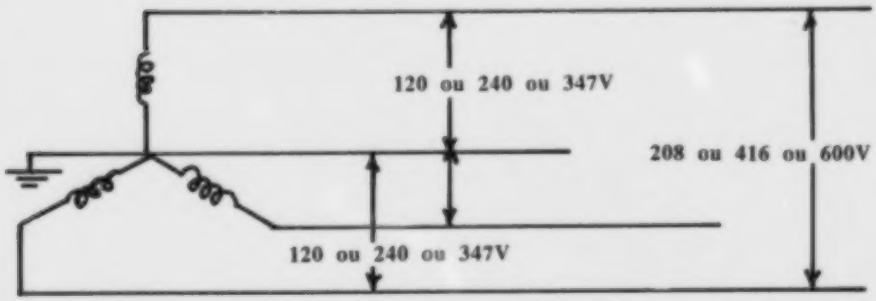
Monophasé

Fil IWO 240 volts



Monophasé

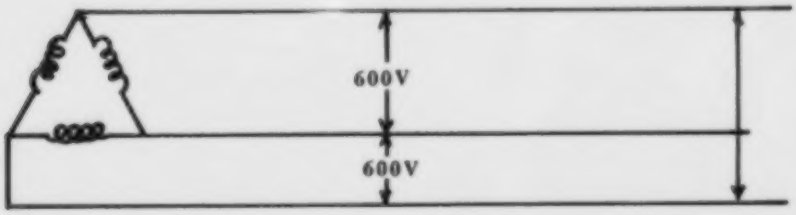
Trois fils 120/240 volts



Triphasé

Quatre fils

120/208 volts en Y
240/416 volts en Y
347/600 volts en Y



Triphasé

Trois fils
600 volts delta

Tensions communes d'utilisation

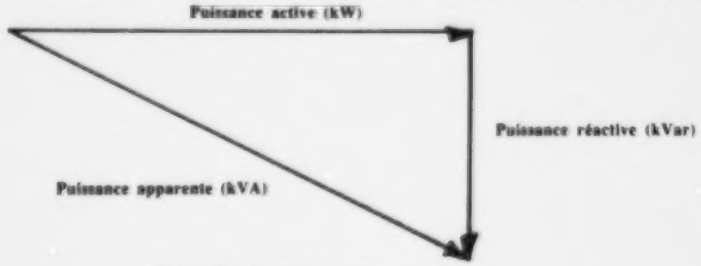
Illustration 7

Facteur de puissance (p.f.)

On l'a dit précédemment, la tension et le courant dans les circuits à courant alternatif sont souvent <<déphasés>>. Le facteur de puissance est un moyen d'exprimer la proportion du courant dans un circuit qui est en phase avec la tension. Comme on l'a établi précédemment, seul le courant qui est en phase avec la tension est capable de travail utile.

Le meilleur moyen de représenter le facteur de puissance est le triangle de puissance représenté à l'illustration 8.

L'énergie électrique transmise par un courant alternatif se compose de deux éléments: la <<puissance active>>



Triangle de puissance
Illustration 8

qui effectue du travail et qui se mesure en kilowatts (kW) et la <<puissance réactive>> mesurée en kilovolts-ampères de réaction (kVar) qui ne travaille pas mais qui est indispensable au fonctionnement de la machine électrique. La combinaison de la puissance active et de la puissance réactive s'appelle <<puissance apparente>>. Elle se mesure en kilovolts-ampères ou kVA; c'est la puissance totale qu'il faut fournir à l'abonné de fin de ligne. Le rapport des kilowatts aux kilovolts-ampères s'appelle <<facteur de puissance>>. Le facteur de puissance s'exprime sous forme de fraction qui ne peut jamais excéder l'unité.

p.f. = kW ÷ kVA

Ainsi, le facteur de puissance d'un circuit de 30 kilowatts dont la puissance apparente est de 40 kilovolts-ampères se calcule comme suit:

facteur de puissance (p.f.)
= 30÷ 40
= 0.75
ou
= 75%

Les services publics mesurent les kW et les kVA et ils établissent ordinairement la note de l'abonné en appliquant le facteur de puissance. La plupart des services publics imposent une amende à l'abonné quand le facteur de puissance est inférieur à 90 pour cent à titre de frais de demande, du fait que la demande est liée à la hausse de capacité de production du fournisseur. Il est important de retenir qu'en outre, la totalité de l'énergie électrique fournie contribue aux effets thermiques, ce dont il faut tenir compte dans le calcul de la taille des transformateurs, des conducteurs et des génératrices. Pour les raisons précitées, il est généralement de économique de corriger les charges à faible facteur de puissance. Les moteurs électriques à induction, les fours à arc et à induction, les soudeuses, les transformateurs et les appareils d'éclairage fluorescent bon marché sont ordinairement des charges à faible facteur de puissance.

Correction du facteur de puissance

La diminution de la partie réactive de la puissance dans un circuit diminue aussi la puissance apparente. Étant donné qu'il n'y a généralement pas de changement à la puissance active, le facteur de puissance s'améliore dans la mesure où la puissance réactive diminue. Un facteur de puissance d'une unité (1.0) ou de 100 pour cent révèle que la puissance réactive a été complètement corrigée et alors, la puissance active est égale à la puissance apparente totale.

On peut corriger avec des condensateurs la partie du courant déphasé qui contribue à la puissance réactive et de ce fait, diminuer ou corriger le facteur de puissance.

Le facteur de puissance peut se corriger dans chaque ligne d'alimentation à proximité de l'entrée de service ou au voisinage des charges à faible facteur de puissance.

L'installation d'un gros condensateur près de l'entrée de service coûte moins cher que celle de condensateurs distincts nécessaires à la correction du facteur de puissance de chaque ligne d'amenée. Mais, cette disposition ne libère pas les lignes d'alimentation surchargées du côté de la charge du condensateur. En outre, il faut parfois recourir à des dispositifs de commutation pour contrôler la correction apportée quand le système n'est chargé que partiellement. L'installation de condensateurs sur des groupes d'équipements peut aussi être moins onéreuse que les techniques de correction distinctes. C'est un moyen d'améliorer les possibilités de charge du service d'électricité mais il peut s'avérer nécessaire d'introduire des dispositifs de commutation pour contrôler la correction quand la charge du système varie.

On préfère habituellement la correction distincte du facteur de puissance parce qu'elle est ordinairement économique pour les appareils de 10 HP ou plus. Cette méthode d'installation de condensateurs sur les équipements permet d'augmenter la charge du système de distribution et elle contribue à maintenir la tension à un niveau plus constant. C'est parce que l'utilisation des condensateurs suit la charge. Ces condensateurs peuvent se brancher en même temps que l'équipement et on peut les retirer avec l'équipement quand on apporte des changements à l'aménagement de l'usine.

Exemple de calcul

Un abonné du secteur veut améliorer le facteur de puissance de son installation électrique caractérisée comme suit:

Lectures du compteur: puissance active = 160 kW
puissance apparente = 200 kVA

Multiplicateur du compteur: 100

La consommation réelle est égale à la lecture du compteur multipliée par le multiplicateur du compteur.

Ainsi:

160 kW x 100 = 16 000 kW
et
200 kVA x 100 = 20 000 kVA

Le calcul du facteur de puissance s'établit ensuite comme ceci:

p.f. = kW ÷ kVA
= 16 000 ÷ 20 000
= 0.80 p.f.

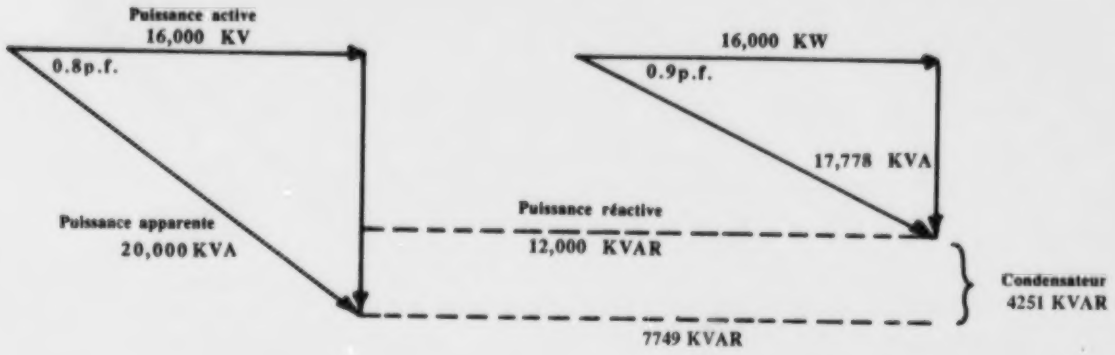
Les tarifs de consommation s'établissent normalement selon la valeur maximale de deux quantités, soit la demande maximale (mesurée en kW), soit la demande maximale mesurée en kVA avec un facteur de puissance de 90 pour cent. Ainsi, un abonné qui a un facteur de puissance de 80 pour cent peut prévoir qu'on lui demandera de payer 16 000 kW ou 20 000 kVA à un facteur de puissance de 90 pour cent. Or, il se trouve que 20 000 kVA à un facteur de puissance de 90 pour cent équivalent à 18 000 kW. Puisqu'il en est ainsi, l'abonné peut s'attendre à payer un supplément d'énergie électrique de 2000 kW au taux par kilowatt établi par le service public.

Afin d'éviter une amende de facteur de puissance, l'abonné doit déterminer la taille minimale du condensateur qui ramènerait ce facteur de puissance de 80 à 90 pour cent.

Deux triangles de puissance représentés à l'illustration 9 servent à établir la quantité de puissance réactive de correction nécessaire pour augmenter le facteur de puissance.

Étant donné que la puissance active est la même, la composante corrigée de puissance apparente peut se calculer comme suit pour obtenir un facteur de puissance de 90 pour cent:

facteur de puissance = kW ÷ kVA



Correction du facteur de puissance
Illustration 9

en isolant kVA:
kVA = 16 000 ÷ 0,9
= 17 778

La puissance réactive dans les deux cas s'établit par un simple calcul algébrique:

Pour un facteur de puissance de 0,8, la puissance réactive a pour valeur

$\sqrt{(20\,000)^2 - (16\,000)^2}$
= 12 000 kVar

Si le facteur de puissance est 0,9, la puissance réactive est égale à

$\sqrt{(17\,778)^2 - (16\,000)^2}$
= 7749 kVar

La capacité nécessaire doit apporter à la puissance réactive une correction de
12 000 — 7749
= 4251 kVar

Le tableau 1 montre les multiplicateurs kW à utiliser pour déterminer les kilovars de capacité nécessaires à l'amélioration du facteur de puissance.

Selon ce tableau, le multiplicateur nécessaire à l'amélioration du facteur de puissance de 0,8 à 0,9 est de 0,266, d'où:
16 000 x 0,266
= 4256 kVar

La comparaison de cette valeur (4256 kVar) établie selon le tableau 1 à la valeur obtenue par le calcul détaillé (4251 kVar) montre que l'emploi des tableaux de ce genre donne des approximations assez justes.

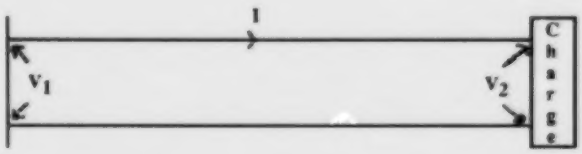
On trouve dans les catalogues des fabricants et des fournisseurs les condensateurs à choisir selon le nombre de kVars qu'ils peuvent fournir.

Souvent, des paramètres économiques incitent à choisir un facteur de puissance de correction qui excède cette valeur minimale. On reprend le développement de cet exemple dans la section intitulée Occasions favorables à l'économie d'énergie du présent module.

Chutes de tension

Les chutes de tension (ill. 10) se produisent dans tous les circuits électriques. On appelle chute de tension la différence entre la tension aux bornes de la charge et celle qui s'applique à l'entrée de service.

La chute de tension s'appelle aussi chute IR car elle est égale au produit de la résistance du conducteur multipliée par le courant qui circule dans le conducteur.



Chute de tension typique

Illustration 10

$Vc = V_1 — V_2 = I \times R$

Où:
Vc est la chute de tension (V)
I est le courant (A)
R est la résistance (Ω)

Les chutes de tension exagérées dans les conducteurs ne sont pas seulement une source de perte d'énergie; elles peuvent aussi avoir un effet désastreux sur l'équipement électrique. Le rendement d'une lampe incandescente par exemple diminue plus vite que la tension; il en résulte une diminution d'efficacité. L'allumage des lampes fluorescentes peut être laborieux, leur ballast peut surchauffer. Les moteurs peuvent aussi surchauffer et leur démarrage peut être entravé. Quand on décèle des difficultés de fonctionnement dans l'équipement électrique, il faut songer à la chute de tension. Bien que le Code canadien de l'électricité recommande d'envisager des chutes de tension d'au moins 5 pour cent dans les calculs des nouvelles lignes principales et secondaires d'alimentation, des charges imprévues s'ajoutent souvent à celles de l'équipement existant. Ces nouvelles charges font augmenter le courant et, par conséquent, la chute de tension dans la filerie existe. Cette lacune se manifeste si souvent que la seule solution à la difficulté consiste à ajouter de nouvelles lignes d'alimentation ou à remplacer les lignes existantes d'alimentation par de plus grosses.

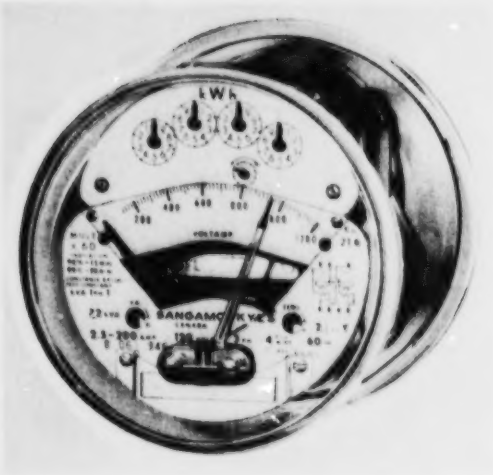
La chute de tension peut s'évaluer au cours d'essais diagnostiques en prenant des lectures à l'entrée de service et aux bornes de charge.

Mesure de la consommation et tarifs

Il faut absolument recourir à des compteurs pour déterminer de quelle manière et en quel endroit la consommation peut diminuer. Mais il faut d'abord répondre à quelques questions d'importance à ce propos:

1. Quelle est la consommation d'énergie électrique de l'édifice ou de l'aménagement?
2. Où et quand se consomme l'énergie électrique?
3. Quel en est le coût?

L'illustration 11 montre un indicateur de maximum typique d'énergie électrique. Ces compteurs sont utiles pour la plupart des entreprises commerciales et des petites industries. Pour calculer la consommation d'énergie électrique et par conséquent, en établir le coût, il faut lire un indicateur de maximum et en consigner les lectures dans un <<registre de demande>>.



Compteur d'énergie et de demande

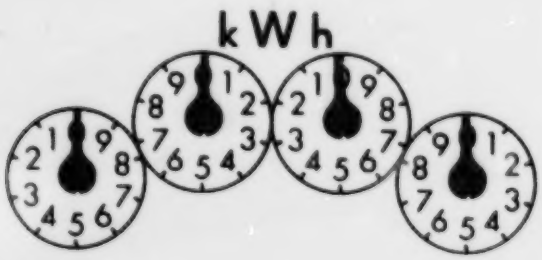
Illustration 11

A l'aide de ces chiffres et d'une copie de la note d'électricité, l'abonné peut calculer exactement le coût de la consommation mensuelle en appliquant le tarif approprié. Le compteur à indicateur de maximum peut mesurer et la consommation d'énergie et la demande d'énergie électrique.

Consommation d'énergie électrique

La consommation d'énergie électrique est la quantité totale d'électricité consommée; elle se mesure en kilowatt-heures (kWh). En lisant les cadrans dans le haut du compteur, on peut établir la consommation (kWh) d'énergie. L'illustration 12 montre ces cadrans en gros plan. Ici, il y a quatre cadrans. Les compteurs chez les grands consommateurs , peuvent avoir cinq cadrans ou plus.

Énergie en kilowatt-heures (kWh)



Cadrans de consommation d'énergie

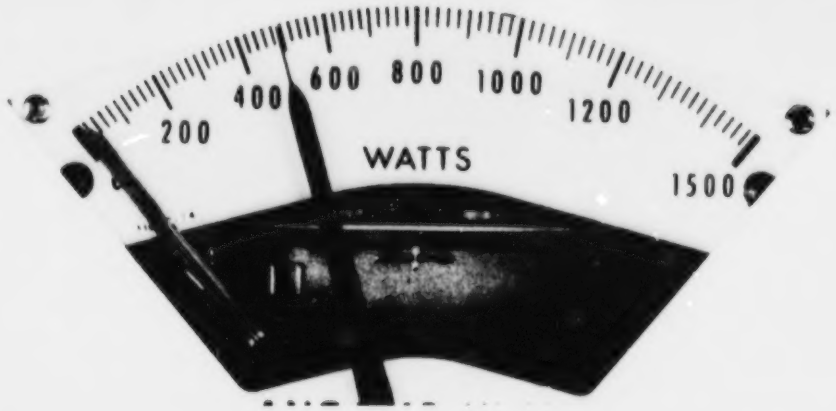
Illustration 12

Demande

On entend par <<demande>> le taux auquel on livre l'énergie électrique à une charge; elle s'exprime ordinairement en kilowatts (kW) ou en kilovolts-ampères (kVA). La <<demande maximale>> correspond au débit maximal de puissance disponible pendant une période de facturation. La <<demande facturée>> est le débit de consommation maximal qui intéresse le fournisseur aux fins de la facturation. Il peut s'agir de la demande maximale mensuelle de kW ou de la quantité kVA maximale mensuelle à un facteur de puissance donné ou enfin, à une demande en kW obtenue de la demande maximale antérieure.

Quand un abonné demande la livraison d'une grande quantité d'énergie électrique, même pendant une brève période, le réseau d'approvisionnement électrique du lieu doit être en mesure de satisfaire cette demande.

La plupart des entreprises commerciales et industrielles paient et la demande et la consommation d'énergie électrique. Exemple: un abonné fait fonctionner simultanément un réchaud de 2 kW, un chauffe-eau de 4,5 kW et un four de 10 kW. La demande d'énergie électrique dans ce cas s'établirait à 2 + 4,5 + 10 = 16,5 kW. Même si le four ne fonctionne qu'une heure par jour, la note de demande de l'abonné pour le mois en question s'établit d'après la quantité totale, soit sur 16,5 kW. L'illustration 13 montre une échelle typique de demande d'énergie électrique. Elle



Échelle de demande

Illustration 13

comporte deux aiguilles, une rouge et une noire. L'aiguille rouge mesure la demande réelle. La vitesse à laquelle l'aiguille rouge réagit à une charge constante varie en fonction de l'intervalle de temps qui caractérise le compteur. La plupart des fournisseurs utilisent un intervalle de 15 minutes. L'aiguille noire indique la demande maximale pendant la période de facturation. Quand l'aiguille rouge avance, elle déplace l'aiguille noire dans le même sens et à la même vitesse. Cependant, quand l'aiguille rouge régresse, l'aiguille noire reste en place pour indiquer la demande maximale.

L'aiguille noire se ramène manuellement contre l'aiguille rouge une fois que la lecture du compteur est consignée.

Quand on lit un compteur à indicateur, il faut prendre soin d'éviter des erreurs imputables au phénomène de parallaxe. Il faut observer la position de l'aiguille à partir d'un point directement en face du compteur. Si l'observation se fait d'un côté ou de l'autre, la valeur s'en trouve augmentée ou diminuée. Il faut aussi prendre soin de lire la subdivision appropriée de l'échelle.

Le multiplicateur du compteur

Les tensions et les courants réels en cause dans maintes applications sont souvent trop élevés pour être enregistrés par un compteur. Pour surmonter cette difficulté, on fait appel à un <<multiplicateur de compteur>>. Ce dispositif se compare à une carte à l'échelle en ce qu'il établit le rapport de la consommation réelle à une lecture réduite. Ces compteurs sont munis d'un multiplicateur interne et d'un multiplicateur externe. Le produit des deux multiplicateurs donne le multiplicateur global du compteur. Le multiplicateur interne (ill. 11) et le multiplicateur externe est le résultat des lectures des valeurs réelles comparativement aux valeurs maximales du courant et de la tension indiquées au compteur. Si, par exemple, un abonné a besoin de 600 volts et 400 ampères et si la capacité maximale du compteur est de 120 V et 5 A, comme le montre l'échelle du compteur de l'illustration 14, le multiplicateur serait:

600 ÷ 120 = 5, le multiplicateur de tension

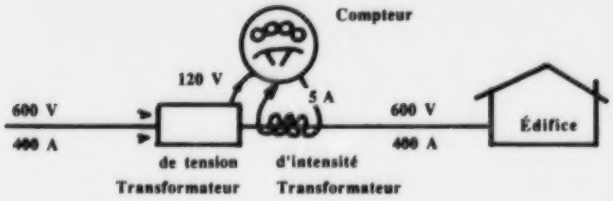
400 ÷ 5 = 80, le multiplicateur de courant

5 x 80 = 400, le multiplicateur externe

Dans l'exemple précédent, le multiplicateur interne figurant sur la face du compteur est 2. Ainsi, le multiplicateur global serait de

2 x 400 = 800

Le multiplicateur global figure habituellement sur la note d'énergie; elle peut se vérifier au moyen du calcul précité.



Multiplicateur
Illustration 14

Tarification — Considérations d'ordre général

La structure des tarifs d'énergie électrique définit la façon d'appliquer à la facture des abonnés les différentes unités d'énergie électrique consommée.

En outre, ces tarifs qui varient d'une entreprise à l'autre sont fréquemment modifiés. Tout comme les barèmes de tarifs, ils n'ont pas la réputation d'être appréciés par les abonnés. Il est important, bien sûr, de doser convenablement et efficacement les charges mais la compréhension des taux que les fournisseurs appliquent à un genre donné d'opérations est indispensable à l'application efficace des mesures d'économie des charges. Il existe des tarifs au choix mais de façon générale, ils ne sont pas incorporés aux formules de facturation à moins que l'abonné ne le demande.

Les tarifs précisent entre autres choses la façon dont la consommation d'énergie électrique (kWh) et la demande d'électricité (kW) doivent être facturés. Bien qu'on établisse la facture de la plupart des abonnés en se reportant à la consommation et à la demande d'énergie électrique, on établit parfois celle des abonnés à faible consommation en s'en rapportant à la seule consommation. Pour cette raison, les tarifs consentis aux commerces, aux grandes institutions et aux industries se partagent généralement en petites, moyennes et grandes catégories de consommation d'énergie.

Tarification

Il existe deux genres de tarification: à une tranche et à tranches multiples.

Dans les taux à tranches multiples, la consommation d'énergie électrique et la demande sont facturées à un seul taux. On les appelle souvent le taux de type <<timbre-poste>>.

Exemple: un abonné consomme 200 000 kWh au cours d'un mois et la demande de pointe s'établit à 700 kW. Le service public applique un taux à tranche unique à 5 $ par kW par mois et la consommation d'électricité est facturée à 0,04 $ par kWh. La note d'électricité pour le mois est donc de:

700 kW x 5 $/kW = 3500 $
200 000 kWh x 0,04 $/kWh = 8000 $
Total = 11 500 $

Certaines sociétés de service public ajoutent aussi des frais constants mensuels d'abonné à la note d'électricité ou spécifient un minimum mensuel.

Dans le cas des taux à tranches multiples, les plus répandus, l'électricité consommée est séparée en tranches facturées à des taux différents.

En reprenant l'exemple précédent et en appliquant le taux à tranches multiples, la note d'énergie pour le mois pourrait s'établir comme suit:

Tarif à tranches: 5 $ par kW/mois de demande de facturaction
Les premiers 10 000 kWh à 0,08 $ par kWh
Les 50 000 kWh suivants à 0,05 $ par kWh
Le solde à 0,03 $ par kWh

Observer que la demande de facturation signalée précédemment peut être:

- la demande mensuelle de pointe en kW,
- la demande mensuelle de pointe en kVA à un facteur de puissance donné (ordinairement 0,09 ou davantage)
- une demande de pointe des mois précédents ou
- une demande minimale précisée dans le contrat de fourniture d'énergie.

En supposant qu'on applique la demande de pointe mensuelle en kW, la note d'électricité pour le mois s'établit

comme suit:

Demande d'énergie: 700 kW x 5 $/kW = 3500 $

Consommation d'électricité:

10 000 kWh x 0,08 $/kWh = 800 $

50 000 kWh x 0,05 $/kWh = 2500 $

200 000 - 60 000 = 140 000

140 000 kWh x 0,03 $/kWh = 4200 $

Total = 11 000 $

Les taux à tranches multiples font souvent intervenir une composante de demande. Dans ce genre de tarification, aussi appelé tarif à tranches variables, la quantité facturée dans chaque tranche dépend de la consommation globale et de la demande de facturation de la période.

Reprenons le calcul précédent en y appliquant un taux à tranches variables:

Consommation: 200 000 kWh/mois

Demande de pointe: 700 kWh

Taux:

5$ par mois par kW de demande de facturation

0,06$ par kWh pour les 120 premières heures de kilowatts de demande de facturation

0,04$ par kWh pour les 70 000 kWh suivants

0,053 par kWh pour le solde de la consommation

Dans ce cas, la facturation serait :

Demande d'électricité : 700 kW x 5$/kW = 3500$

Consommation d'énergie:

120 heures x 700 kW = 84 000

84 000 kWh x 0,06 $/kWh = 5040 $

70 000 kWh x 0,04 $/kWh = 2800 $

Solde:

200 000 — 154 000 = 46 000

46 000 kWh x 0,03 $/kWh = 1380 $

Total = 12 720 $

Les structures tarifaires utilisées dans les calculs précédents ne servent qu'aux fins de l'exemple. Les coûts défrayés en fin de compte par les abonnés dépendent de la consommation d'énergie, de la demande et du facteur de charge de l'installation donnée.

Les sociétés de service public ajoutent plusieurs autres dispositions à leur structure tarifaire. L'une d'elles est une clause touchant le facteur de puissance qui précise que la demande de facturation sera la plus grande des deux valeurs suivantes: la demande réelle en kW ou le produit kVA à un facteur de puissance donné, ordinairement 90 pour cent ou davantage. Si donc le facteur de puissance est de beaucoup inférieur à 90 pour cent, l'abonné s'expose à une amende coûteuse.

Un autre aspect des techniques de facturation est la clause de <<tarif à cliquet>> ou de <<demande minimale>>. Elle spécifie ordinairement que la demande de facturation du mois ne sera pas inférieure à la demande réelle du mois mesurée en kW ou en pourcentage de la demande mensuelle la plus élevée au cours d'une période donnée (souvent les 11 mois précédents). Cette disposition peut avoir de grandes répercussions sur la note finale étant donné que le taux de l'abonné se fonde sur une demande de pointe d'une seule fois au cours d'une période de temps donnée. Certaines sociétés de service public ont aussi des taux saisonniers qui appliquent ou n'appliquent pas la clause à cliquet, selon qu'il s'agit d'une saison de pointe ou d'une saison creuse. Un fournisseur dont les pointes de charge se manifestent en hiver par exemple, peut ignorer la clause à cliquet pendant les mois d'été.

Analyse des notes d'électricité

Dans l'analyse des notes d'électricité des sociétés de service public, il faut déterminer ce qui suit pour chaque compteur:

- le taux appliqué ou les autres conditions de service,
- les choix de taux disponibles pour le genre de service, le cas échéant,
- la manière dont s'applique la structure tarifaire dans le calcul de la demande de facturation,

• les clauses de facteur de puissance, le cas échéant,

• les clauses d'ajustement de carburant, le cas échéant, quand la société de production utilise des carburants d'origine fossile et

• d'autres facteurs tels que les tensions de service présentes et futures.

Les services publics ont des représentants chargés d'expliquer aux abonnés la formule d'établissement de leur taux.

Compteurs du fournisseur et compteurs maison

Les sociétés de service public fournissent ordinairement un point de mesure de consommation par tarif. Dans les installations de taille moyenne et de grande taille, ce point unique de mesure de consommation peut ne pas fournir assez de renseignements. En tels cas, il faut envisager l'installation de compteurs maison. On les installe normalement à la suite d'une vérification préliminaire qui révèle le besoin de données supplémentaires. Ces données permettent de faire un examen poussé de chacune des grandes composantes: puissance à l'entrée ou à la sortie, pertes de puissance et correction du facteur de puissance.

Gestion et contrôle de la demande

Une gestion efficace de la demande et le système de contrôle doivent prendre en considération les éléments tels que le profil quotidien de charge, le facteur de charge, le transfert de charge et le délestage de charge.

Profil quotidien de charge

Il est indispensable d'établir un profil quotidien de charge de l'installation électrique pour déterminer à quel moment d'une journée typique se produit la demande maximale, pour identifier les composantes de cette demande maximale et déterminer les moyens de réaliser des économies. L'illustration 15 montre un spécimen de profil. Il représente graphiquement la demande d'énergie pendant 24 heures. Les données de demande d'électricité s'obtiennent en lisant à divers moments de la journée l'aiguille rouge de l'échelle de demande

Facteur de charge

Le facteur de charge est le pourcentage du temps pendant lequel la demande de pointe est absorbée. On la mesure pour une période de temps donnée, soit pour une journée, un mois ou un an. Le facteur de charge est une mesure de l'efficacité de l'économie de la demande d'énergie. Exemple: une charge électrique établie à une demande de 100 kW dissipe 1200 kWh pendant une journée; son facteur de charge est:

$$\text{Pourcentage du facteur de charge} = \frac{\text{kWh}}{\text{kW x h}} \times 100$$

$$= \frac{1200\text{kWh}}{100 \times 24} \times 100\%$$

$$= 50\ \%$$

De façon générale, la structure des tarifs électriques est telle qu'un facteur de charge plus élevé débouche sur un moindre coût moyen par kilowatt-heure.

Décalage et délestage de charge

On peut parfois décaler certains charges indispensables qui doivent être appliquées en priorité comme celles de l'équipement de production en reprogrammant les horaires de production.

Dans certains autres cas, on peut laisser tomber aux heures de pointe des charges non essentielles qu'il faut appliquer tous les jours pendant un certain temps et les appliquer de nouveau pendant les heures creuses. Ces charges typiquement non essentielles sont le chauffage de l'eau, le fonctionnement des gros moteurs comme ceux des broyeurs, les chaudières électriques, les congélateurs, les dégivreurs, les fondeuses de neige et certains types de fours et de réchauds de réservoir.

Exemple de décalage de charge

On voit à l'illustration 15 un profil typique de charge quotidienne qui comporte une charge de base. La charge de base comprend tout l'équipement tel que le chauffage, l'aération, l'éclairage de sécurité, etc. qui fonctionnent sans

interruption. L'illustration 15 montre que l'équipement électrique commence à fontionner à 6 h. On le laisse allumé jusqu'au moment d'atteindre une charge de pointe à 11 h. Cette charge de pointe diminue sensiblement à 12 h pendant le déjeuner. Après le déjeuner, on rallume l'équipement et la charge atteint une deuxième pointe à 14 h. A 16 h, heure probable de fermeture, une autre diminution sensible de la demande d'électricité se manifeste.

L'illustration 16 montre comment on peut réaliser des économies en écrêtant ces pointes, c'est-à-dire, en déplaçant une partie de la charge de pointe de midi à un moment de la journée où il n'y a pas de pointe. Cependant, la consommation totale n'en est pas diminuée. Ainsi, au lieu de faire fonctionner 12 machines à 11 h, on pourrait en faire fonctionner 3 à 13 h, 6 à 11 h et 3 autres à 13 h. Les 12 machines continueraient de fonctionner tout au cours de la journée mais pas toutes à la fois. L'illustration 17 montre le profil de charge quotidien une fois que les pointes sont écrêtés. On peut observer que le secteur plein de l'illustration 16 correspont au secteur plein de l'illustration 17. Cependant, la consommation électrique a été décalée dans le temps et le secteur qui la représente a été relocalisé. Cette mesure atténue la demande de pointe globale tout en débouchant en même temps sur un facteur de charge plus élevé.

Exemple d'épargnes

Pour mieux illustrer l'importance de la demande d'électricité du point de vue des coûts, examinons le cas de deux entreprises qui utilisent toutes les deux la même quantité d'énergie sauf qu'une des entreprises obtient une demande mensuelle inférieure à celle de l'autre. Le tarif de facturation mensuel des deux entreprises est établi comme suit:

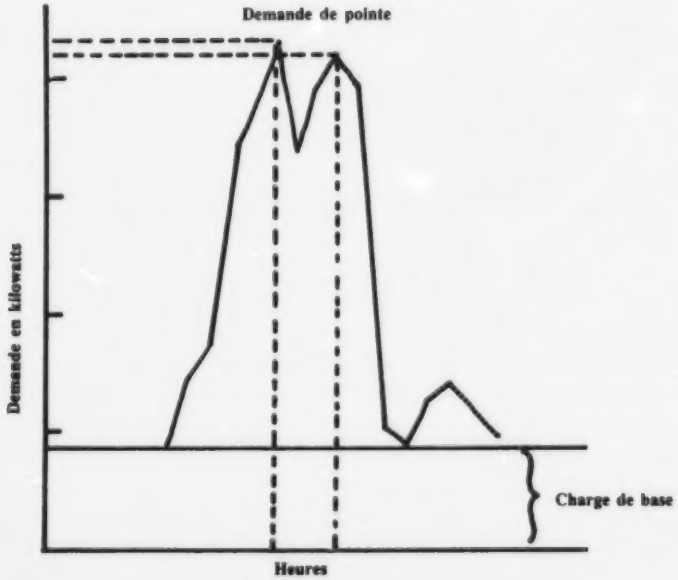
Tarif à tranches variables

(Demande) = 4 $ par kW de demande de facturation

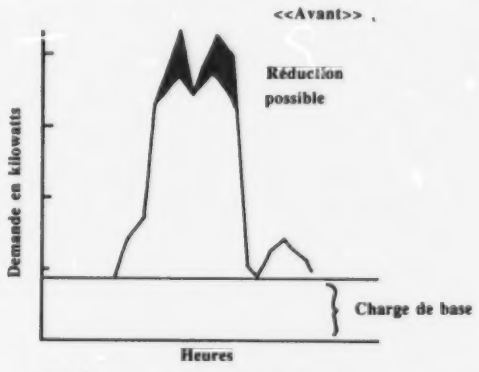
(Consommation) = 0,05 $ par kWh des 120 premières heures d'utilisation de la demande de facturation

- 0,035 $ par kWh pour les 78 000 kWh suivants
- 0,025 $ par kWh pour le solde de consommation

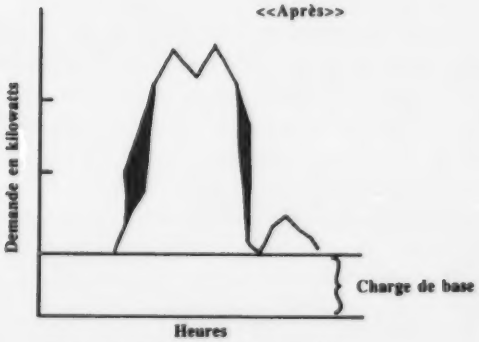
Dans l'exemple suivant, la demande de facturation est égale à la demande de pointe mensuelle en kW.



Profil de charge
Illustration 15



Réduction des pointes (avant)
Illustration 16



Réduction des pointes (après)
Illustration 17

Demande de facturation, abonné A: 200 kW
Demande de facturation, abonné B: 300 kW
Consmmation d'énergie: 90 000 kWh dans chaque usine

Note mensuelle de l'abonné A:

Frais de demande:	
200 kWh/mois x 4 $/kW	8000 $
Frais de consommation d'énergie:	
Première tranche:	
200 kW x 120 h: 24 000 kWh x 0,05 $/kWh	1200 $
Deuxième tranche:	
90 000 kWh - 24 000 kWh:	
66 000 kWh x 0,035 $/kWh:	2310 $
Total:	4310 $

Note mensuelle de l'abonné B:

Frais de demande:	
300 kW/mois x 4 $/kW	1200 $
Frais de consommation d'énergie:	
Première tranche:	
300 kW x 120 h: 36 000 kWh x 0,05 $/kWh	1800 $
Deuxième tranche:	
90 000 kWh - 36 000 kWh:	
54 000 kWh x 0,035 $	1890 $
Total:	4890 $

Différence entre les notes d'énergie électrique:
4890 $ - 4310 $ = 580 $/mois

Coût moyen de l'énergie pour l'abonné A:

$$\frac{\text{Coût}}{\text{kWh}} = \frac{4310\ \$}{90\,000} = 0{,}0479\ \$/\text{kWh}$$

Coût moyen de l'énergie pour l'abonné B:

$$\frac{\text{Coût}}{\text{kWh}} = \frac{4890\ \$}{90\,000} = 0{,}0543\ \$/\text{kWh}$$

Facteur moyen de charge mensuelle: Abonné A:

$$\frac{\text{kWh}}{\text{kWh x h}} \times 100 = \frac{90\,000}{720 \times 200} \times 100 = 62{,}5\%$$

Abonné B:

$$\frac{90\,000}{720 \times 300} \times 100 = 41{,}7\%$$

L'abonné A dont la demande de pointe mensuelle est inférieure paie son énergie électrique 580 $ de moins par mois. Dans son cas, le coût moyen par kWh est:

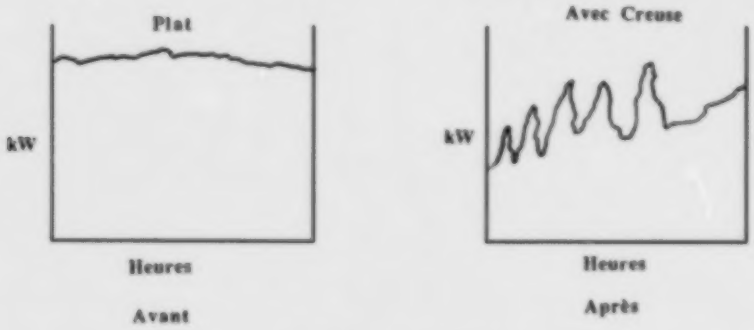
$$\frac{0{,}0543\ \$ - 0{,}0479\ \$}{0{,}0479\ \$} \times 100 = 13{,}4\%$$ plus bas

Analyse du profil de charge

L'analyse du profil de charge de demande d'une installation électrique peut aider à cerner les occasions de réduction de demande de pointe.

On se rend facilement compte en observant l'illustration 18 qu'un profil de demande de facteur de charge élevé, uniforme et plat exige moins de contrôle de demande de pointe qu'un profil hérissé de pointes.

L'analyse du profil de demande révèle la nature et l'évolution du fonctionnement de l'équipement électrique du réseau.



Profils de charge typiques

Illustration 18

Quand il est impossible de décaler quelques charges d'une heure de fonctionnement à une autre, l'installation d'un contrôleur automatique de délestage de demande peut être la meilleure alternative. Le bien fondé d'une telle mesure dépend de la nature du profil de charge et de ses composantes (charges essentielles et charges non-essentielles). Il faut établir soigneusement la stratégie de délestage de charge de demande afin d'éviter des difficultés d'exploitation. Dans la plupart des cas, on peut appliquer manuellement cette formule à petite échelle avant de s'engager dans une installation relativement onéreuse d'appareils de contrôle de demande. Ainsi, on peut éteindre les souffleries à la main pendant des périodes choisies afin de s'assurer que la température dans l'édifice se maintient à des niveaux acceptables avant d'installer un équipement de contrôle du fonctionnement de ces souffleries.

Emmagasinage thermique

La technique d'emmagasinage thermique est une possibilité d'économie d'énergie. Elle peut aider à parer aux pointes de demande et justifier l'élaboration de projets de récupération de la chaleur et de sources alternatives d'énergie .

La décision de faire appel à des dispositifs d'emmagasinage thermique repose en grande partie sur la rentabilité de ces dispositifs. La consommation totale d'énergie d'un dispositif d'emmagasinage thermique pour une application donnée sera plus importante en raison des pertes supplémentaires de chaleur inhérentes au processus d'emmagasinage. Cependant, la diminution de la demande de pointe (maximale) qui contribue à l'abaissement des coûts d'électricité pendant les périodes creuses peut dans un grand nombre de cas compenser de beaucoup le coût de cette énergie supplémentaire.

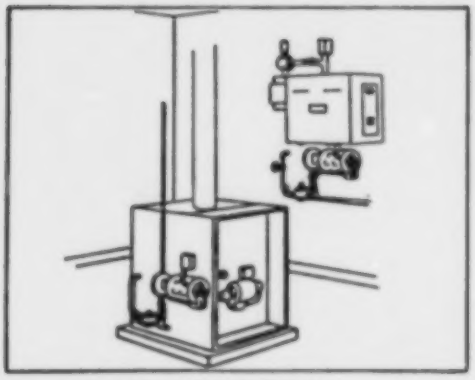
Ce propos, l'emmagasinage thermique, fait l'objet du module 19 de la présente série; nous y référons les intéressés.

Systèmes d'énergie jumelée

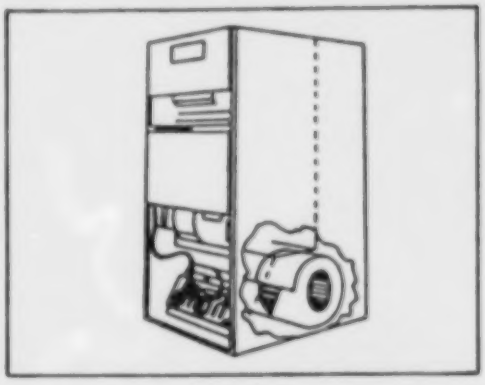
Un autre moyen d'écrêter les pointes de consommation électrique consiste à installer un système d'énergie alternatif chauffé avec des combustibles fossiles. Ces systèmes (illustration 19) fonctionnent pendant des périodes déterminées (par jours extrêmement froids) quand les charges électriques atteignent des pointes déterminées à l'avance. Au Canada, plusieurs entreprises publiques de production d'électricité trouvent qu'il vaut la peine d'écrêter les pointes : elles offrent des tarifs compensatoires à leurs abonnés qui coopèrent dans ce sens. C'est en analysant le tableau de l'énergie totale de l'édifice ou de l'usine qu'on peut établir si cette formule d'utilisation d'énergie jumelée est économiquement rentable. L'examen doit comporter une analyse des taux concurrentiels de tous les fournisseurs d'énergie étant donné que plusieurs entreprises publiques de gaz et d'électricité offrent des taux applicables

provisoirement dont on peut tirer parti. Les détaillants de mazout offrent également des taux de vrac qui peuvent aussi s'agencer avec des aménagements adéquats d'emmagasinage.

Le recours au système de bi-énergie et les tarifs provisoires d'électricité dépendent
— du coût relatif des diverses sources d'énergie,
— de la durée des contrats d'approvisionnement qu'on peut obtenir,
— du coût d'immobilisation de l'équipement supplémentaire nécessaire et
— des stimulants que propose l'entreprise de service public.



Fournaise au gaz ou au mazout
Un système combiné autonome



Fournaise à air forcé électrique-gaz ou mazout
Fournaise électrique en option

Systèmes bi-énergie
Illustration 19

Transformateurs

Le présent texte n'entre pas dans les détails de conception et du fonctionnement des transformateurs, vue leur complexité inhérente. Un transformateur sert à changer la tension ou le courant d'un circuit électrique à courant alternatif ou parfois, à isoler un circuit électrique d'un autre tout en conservant les échanges d'énergie entre eux. En substance, le transformateur se compose d'un noyau retenant un enroulement primaire et un enroulement secondaire (ill. 20). Les variations de tension dans le primaire engendrent dans le secondaire des forces électro-motrices qui le chargent électriquement.

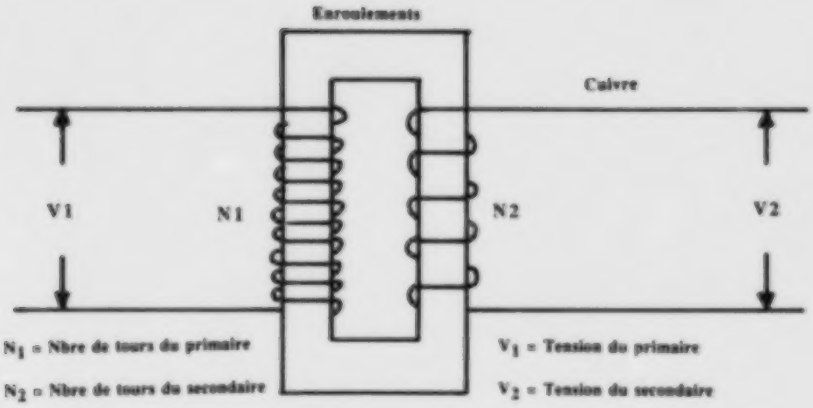
Le rendement d'un transformateur peut s'exprimer par les relations suivantes :

$$\text{Efficacité: } \frac{\text{énergie de sortie}}{\text{d'entrée}} = \frac{\text{énergie de sortie énergie}}{\text{énergie de sortie + pertes}}$$

$$\text{\% d'efficacité : } \frac{\text{énergie de sortie}}{\text{énergie d'entrée}} \times 100$$

Les pertes dans les transformateurs sont imputables aux causes suivantes :
1 — pertes dans le cuivre du primaire: I^2R_1
2 — pertes dans le cuivre du secondaire: I^2R_2
3 — pertes dans le noyau composé:
a) des pertes par hystérésis
b) des pertes par courants de Foucault

Avec des transformateurs de bonne qualitié, on obtient des rendements excédant 90 %. Ils sont munis d'enroulements qui minimisent les pertes I^2R par l'utilisation de conducteurs à faible résistance. Leur noyau fait de matériaux facilement magnétisables et démagnétisables produit moins de pertes par hystérésis. Les courants de Foucault sont minimisés par l'utilisation de noyaux de transformateur laminés, faits de feuilles minces qui offrent une grande



Transformateur élémentaire

Illustration 20

passage des courants de Foucault.

Charge

Les calculs de rendement des transformateurs présupposent une estimation du pourcentage auquel on l'utilise, soit le <<pourcentage de charge>>.

La plaque d'identification du transformateur précise les caractéristiques de charge totale. Elles sont établies en kVA par rapport à la tension et la fréquence du courant d'entrée. Le pourcentage de charge s'exprime normalement par rapport à la caractéristique de charge totale du transformateur. Dans le cas d'une usine ou d'un édifice, les données peuvent être déduites des mesures de la taille du transformateur. On ajoute les charges imposées à un transformateur qui doit fonctionner en même temps qu'un autre pour établir la taille du nouveau transformateur. Cette information (kW de sortie) peut servir aux calculs des économies par l'amélioration de l'efficacité du transformateur.

Dans le cas d'installations existantes, le profil quotidien de charge kW doit comporter la charge du transformateur s'il n'y en a qu'un. Quand on en utilise plus qu'un, on peut se servir des lectures de volts-ampères pour déterminer le pourcentage de charge. Dans les circuits monophasés à trois fils, ces mesures peuvent révéler la nécessité de reprendre la compensation des deux circuits, c'est-à-dire de répartir plus uniformément les charges entre les deux transformateurs. De la même façon, il faut mesurer et ajouter l'énergie de chaque phase des transformateurs triphasés pour obtenir la charge totale. Ces mesures doivent s'effectuer quand le transformateur fournit des charges maximales pendant son fonctionnement normal.

Certains transformateurs sont reliés à des tableaux d'instruments ou de distribution qui contiennent les compteurs nécessaires à la détermination de la charge du transformateur. Dans certains cas, on peut aussi lire les kilovolts-ampères et les kilowatts sur les compteurs de service avant et après la mise en service du transformateur. La différence entre les lectures peut aussi servir au calcul de la charge du transformateur.

Si le profil de charge varie sensiblement au cours d'une période de 24 heures et si l'on utilise plus d'un transformateur, il peut être opportun de répartir la charge de sorte qu'un transformateur prenne toutes les charges pendant les périodes d'utilisation des seuls circuits accessoires (comme l'éclairage d'urgence, les systèmes de sécurité et d'incendie, la climatisation limitée). L'autre transformateur peut servir à satisfaire les charges indispensables aux opérations. Ce processus atténue les pertes de transformateur et la consommation d'énergie électrique.

Épargnes

Les épargnes de coûts réalisées par l'utilisation de transformateurs à grande efficacité énergétique peuvent d'abord s'établir en calculant l'énergie de sortie (kW) du transformateur. L'énergie de sortie d'un transformateur dépend des charges qu'il est appelé à satisfaire; elles s'expriment généralement en pourcentage de la possibilité de pleine charge du transformateur.

Énergie de sortie en kW = sortie de pleine charge x % de charge

En deuxième lieu, on peut faire appel à une formule d'efficacité des transformateurs pour comparer les épargnes fixées d'un transformateur de grande efficacité énergétique (e.é.) à celles d'un appareil standard (std).

Différence de kW d'entrée entre le std et le e.é. =

$$\text{Énergie de sortie en kW} \left(\frac{1}{\text{efficacité std}} - \frac{1}{\text{efficacité e.é.}} \right)$$

En outre, le nombre d'heures d'utilisation par année et le coût moyen en kWh peuvent déboucher sur les épargnes suivantes:

Épargnes en $/an = épargnes en kW x heures/an x $/kWh

Quand il s'agit de remplacer un transformateur, il est recommandable d'envisager l'achat d'un appareil à haute efficacité énergétique plutôt qu'un design à efficacité standard. De façon générale, il faut donner au transformateur les dimensions nécessaires pour qu'il fonctionne à des facteurs de charge élevés qui donnent de brèves périodes de récupération du supplément de coût comme le montre l'exemple suivant.

Il s'agit de remplacer un transformateur de sous-station qui appartient à l'abonné; ce doit être un transformateur de 500 kVA pour satisfaire aux besoins actuels et aux besoins anticipés.

Estimation de la charge: 75%
Facteur de puissance: 90%
Estimation des heures de fonctionnement/an: 4000 heures
Données du fabricant:
Efficacité du transformateur standard: 91%
Efficacité du transformateur à efficacité élevée: 96% Supplément de coût: 5000$
Données de facturation:
Coût moyen de l'électricité: 0,06 $/kWh

kW de sortie: cap. nom. x facteur de puissance x % de charge
kW de sortie: 500 x 0,90 x 0,75
= 337,50 kW

Différence de kW à l'entrée: $337{,}50 \times \left(\frac{1}{0{,}91} - \frac{1}{0{,}96} \right)$

= 19,338 kW

Épargnes en $:

Dif. de kW à l'entrée x heures de fonctionnement/an x coût de l'énergie/kWh
= 19,338 x 4000 x 0,06
= 4641 $ par an

$$\text{Compensation simple} = \frac{5000\ \$}{4641\ \$}$$

= 1,08 an

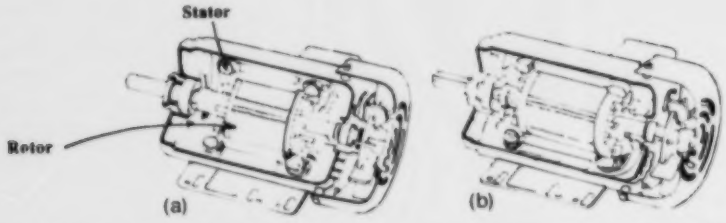
Moteurs

Les moteurs électriques (ill. 21) sont des appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique. Cette transformation s'accomplit par la réaction entre des conducteurs chargés de courant et des champs magnétiques. Un courant électrique provenant d'une source extérieure engendre une force électro-motrice qui fait tourner le moteur

et fournit de l'énergie mécanique à l'arbre de couche.

Les pertes électriques des moteurs comprennent:

- pertes de cuivre dans le stator et le rotor,
- perte de noyau dans le stator et le rotor,
- pertes par frottement et d'enroulements.



Construction d'un moteur C.A. standard(a) et à efficacité énergétique (b), Remarquez les noyaux allongés du rotor/stator sur le moteur à efficacité énergétique.

Moteurs

Illustration 21

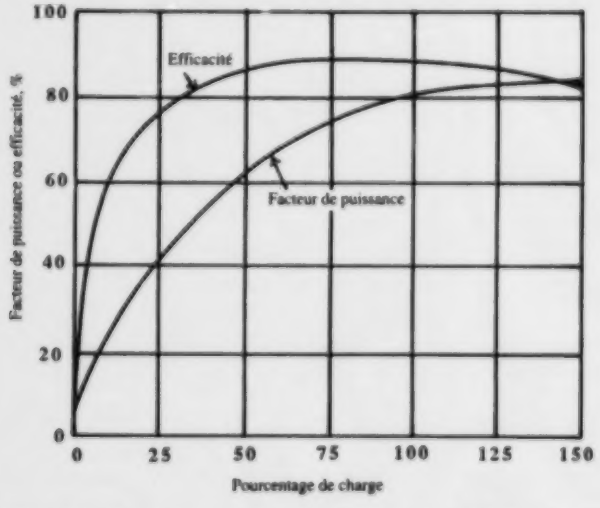
L'efficacité d'un moteur s'exprime comme suit:

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{énergie de sortie}}{\text{d'entrée}} = \frac{\text{énergie de sortie énergie}}{\text{énergie d'entrée + pertes}}$$

L'illustration 22 montre une courbe typique d'efficacité d'un moteur. On peut y observer que l'efficacité du moteur part d'un faible niveau correspondant à de faibles charges pour atteindre presque un niveau maximum d'efficacité quand le moteur atteint environ 75 pour cent de sa pleine charge. Le facteur de puissance dont il a été question précédemment s'améliore aussi à mesure que la charge augmente. De façon générale, il est vrai que plus le moteur est gros, plus son efficacité est grande. Ainsi, l'efficacité de pleine charge typique d'un moteur de 1 HP est de 70 pour cent tandis que celle d'un moteur de 100 HP est de 92 pour cent.

Charge

L'estimation du pourcentage de charge du moteur est indispensable à la détermination de son efficacité. C'est le pourcentage de pleine charge auquel le moteur fonctionne.



Efficacité et facteur de puissance d'un moteur triphasé type

Illustration 22

Les instruments dont il est question dans la section des équipements servent à la mesure du courant de ligne et de la tension de ligne. Ces mesures avec les caractéristiques du moteur fournies par le fabricant servent à déterminer le pourcentage de charge. Dans certains cas, il est aussi possible de mesurer les kilovolts-ampères (kVA) et les kilowatts (kW) sur un compteur d'électricité de service avant et après le démarrage du moteur. Les différences de lecture peuvent servir au calcul de la charge du moteur.

Efficacité

Au Canada, environ 50 pour cent de la consommation totale de l'électricité sont absorbés par l'industrie et les moteurs dissipent environ 75 pour cent de cette consommation. Par conséquent, l'augmentation de l'efficacité des moteurs peut avoir un impact sensible sur les économies d'électricité dans les services domestiques et commerciaux mais surtout sur l'alimentation des moteurs de l'industrie.

Cyclage de service

Dans certaines applications, le moteur doit fonctionner à pleine charge pendant une durée déterminée puis, à vide pendant un autre intervalle de temps. Dans tels cas, on peut économiser de l'énergie en stoppant et en redémarrant le moteur à chaque cycle. Ce stoppage et ce démarrage du moteur s'appellent <<cyclage de service>>.

Efficacité de fonctionnement et entretien

Tout programme d'entretien systématique doit commencer par un bilan énergétique des systèmes de moteurs en vue d'établir les étapes indispensables de l'économie d'énergie ainsi que l'ordre de priorité de ces étapes.

Chaque moteur de l'édifice ou de l'usine doit faire l'objet des essais suivants:

- caractéristiques de démarrage
- courant de régime
- température de régime du moteur et des paliers
- aération et
- connexions et contacteurs.

La régularité des vérifications peut déceler le changement du fonctionnement ordinaire du moteur:

- niveau du bruit du moteur en mouvement
- temps nécessaire au moteur pour atteindre sa vitesse de régime
- niveau des vibrations.

Le module 4 de la présente série traite des moteurs à grand rendement énergétique; les intéressés y trouveront d'autres renseignements sur la question.

Éclairage

Les sources d'éclairage peuvent absorber quelque 60 pour cent de la consommation totale de l'électricité dans un édifice typique de bureaux.

Dans tous les systèmes d'éclairage, les améliorations possibles les plus importantes sont:

- la diminution de la durée de l'éclairage,
- la substitution des ampoules en place par des ampoules de moindre puissance,
- la diminution du niveau d'éclairage
- le remplacement en vrac des ampoules,
- la disposition des sources d'éclairage aptes à projeter la meilleure illumination sur une tâche donnée,
- l'amélioration du facteur de puissance (comme minimum standard d'efficacité énergétique, tous les ballasts des appareils d'éclairage doivent avoir un facteur de puissance nominal d'au moins 90 pour cent) et
- lignes principales et lignes secondaires d'alimentation qui minimisent les pertes dans le cuivre en utilisant des tensions plus élevées et des conducteurs plus gros.

Les intéressés trouveront plus de renseignements sur ces systèmes électriques dans le module 2 (Éclairage) de la présente série.

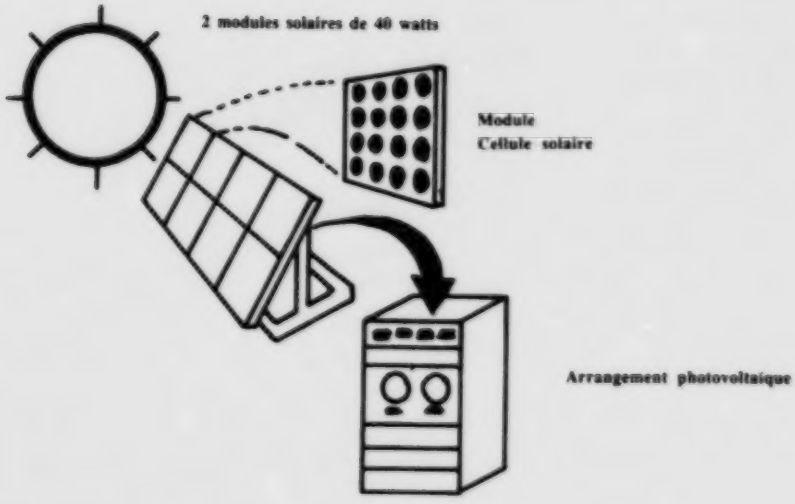
Énergie photovoltaïque

L'électricité qui est essentiellement le mouvement des électrons au sein d'un conducteur électrique peut aussi être engendrée par ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque (ill. 23). Ce phénomène qui transforme directement la lumière

solaire en électricité se manifeste le plus souvent dans ce qu'on appelle des semi-conducteurs. La conception et la fabrication de la cellule photoélectrique est telle que l'incidence de la lumière solaire sur sa surface entraîne un mouvement d'électrons. Si l'on branche un circuit extérieur de part et d'autre de la cellule, on y établit un courant électrique. Les cellules photoélectriques typiques donnent environ 0,5 V et un courant de 2 A. On peut obtenir des tensions et des courants plus élevés en raccordant des groupes de cellules en série et en parallèle.

Un module solaire typique qui donne 35 watts a 100 cm de longeur, 40 cm de largeur et 4,5 cm d'épaisseur; il pèse 5,5 livres. Un système de 1 kW a 4 mètre de longueur sur 3 mètres de largeur et comporte 30 modules. Les cellules photoélectriques sont protégées contre les intempéries par du verre trempé et des pellicules spéciales qui les tiennent à l'abri de la plupart des rigueurs du climat. Un système typique comporte un groupement ou réseau de modules, des batteries d'emmagasinage et un contrôleur de charge servant à régulariser le courant électrique.

Les cellules photoélectriques d'abord utilisées dans le programme spatial des États-Unis se sont graduellement étendues aux applications terrestres; dans certains cas, elles peuvent devenir une source de rechange ou d'appoint et remplacer les sources classiques de fourniture d'énergie. Les coûts d'immobilisation par kW des systèmes photoélectriques sont généralement supérieurs à ceux des systèmes classiques.



Système photovoltaïque type
Illustration 23

Méthodes de préparation de bilans énergétiques

La mise en oeuvre d'un programme d'économie d'énergie dans les édifices et les usines doit comporter les étapes fondamentales suivantes:

Collecte des renseignements

La première étape d'identification des possibilités d'économies d'énergie des réseaux électriques consiste à grouper l'historique de consommation et les données touchant la demande. L'analyse de ces renseignements en regard de la structure tarifaire du service public d'électricité du lieu et des pratiques de facturation débouche sur des

renseignements d'importance sur les coûts et les possibilités d'épargnes. La consultation des plans d'aménagement du réseau de distribution où figurent les modifications apportées subséquemment aide à cerner et localiser les éléments du réseau.

Bilan d'inspection sur place

Le bilan d'inspection sur place aide à identifier certaines mesures d'économie d'énergie comme l'arrêt des appareils d'éclairage, des souffleries et des équipements inutilisés. Règle générale, cette mesure a plus d'effet si l'on en charge des personnes objectives, qui ne sont pas familières avec les lieux mais qui sont versées en gestion d'énergie. Dans les grands édifices de bureaux occupés par de nombreux locataires, ce bilan peut comporter des dispositions spécifiques avec chaque occupant en vue d'évaluer adéquatement les habitudes de travail et d'établir des programmes d'entretien et de nettoyage.

Le bilan d'inspection sur place peut aussi révéler l'éventuelle nécessité d'un examen approfondi de toutes les composantes du réseau électrique. C'est alors qu'on peut formuler des plans préliminaires d'installation de nouveaux dispositifs supplémentaires de mesures d'énergie. Le bilan d'inspection permet aussi de déceler des situations dangereuses, comme des connexions électriques lâches, de mauvais contacts, des accumulations de saleté et de poussière, des défauts d'aération des locaux et de l'équipement.

Bilan de diagnostic

Dans la plupart des cas, il est impossible de justifier l'amélioration des conducteurs électriques, la correction du facteur de puissance ou l'installation de transformateurs et de moteurs à grand rendement énergétique sans avoir parachevé au préalable une analyse des coûts et des épargnes. Ce genre d'analyse s'appelle le <<bilan de diagnostic>> qui comporte une recherche plus poussée des occasions favorables d'économie d'énergie.

Consulter la liste de pointage figurant dans la section du présent module. Elle aide à effectuer un bilan diagnostic de ce genre. Les calculs servant à déterminer soit la récupération simple ou une compensation plus compliquée sur les immobilisations aident à établir la rentabilité économique de maintes occasions d'économie d'énergie.

APPAREILLAGE

Dans la présente section, on examine les principaux genres d'équipements électriques alimentés par les grands réseaux d'électricité. Il s'agit de compteurs, de conducteurs électriques, de transformateurs, de moteurs, d'appareils d'éclairage, d'éléments chauffants, de condensateurs, de contrôleurs de charge, de sources d'énergie électrique d'urgence et de systèmes d'alimentation ininterrompue (UPS).

Compteurs

Les compteurs sont indispensables à la détermination de l'état des réseaux électriques. Selon les aménagements du réseau et les besoins spécifiques, les lectures de compteur doivent se prendre commodément, sans interruption du courant, au moyen de raccords ou d'appareils à pince.

Les lectures de compteur se prennent ordinairement à l'entrée de service, sur une ligne particulière d'alimentation ou à proximité de l'équipement qu'il s'agit d'observer.

Il est indispensable de faire effectuer un examen complet du réseau périodiquement ou annuellement, de préférence par des entreprises spécialisées qui peuvent revoir les caractéristiques d'exploitation d'un réseau électrique et signaler les causes de difficultés éventuelles.

Compteurs d'entretien

Il est indispensable d'avoir à sa disposition un minimum de compteurs et d'instruments nécessaires à l'application efficace du programme d'entretien. On recommande ordinairement les modèles de compteur suivants: un voltampèremètre à pince, un multimètre à main et un appareil d'essai d'isolant.

Le voltampèremètre à pince (ill. 24) sert à mesurer le courant dans un conducteur; on peut l'utiliser sans débrancher l'équipement. C'est dire qu'on peut évaluer les niveaux de charge sans interrompre le service. Les compteurs numériques à pince peuvent lire jusqu'à 1000 A, 750 V.C.A. et 1000 V.C.C.. Certains modèles qui fonctionnent bien dans les milieux défavorables sont très précis, eu égard à leur coût. La plupart des lectures obtenues sur les compteurs tenus à la main sont en-deça de 2 pour cent, ce qui suffit à la plupart des fins de l'entretien électrique.

L'autre compteur toutes fins est le multimètre (ill. 25). C'est un excellent instrument de diagnostic qui permet de déterminer les tensions (C.A. et C.C.) et les résistances en différents points des réseaux ou des appareils. Ainsi, le multimètre sert à la mesure des niveaux de tension au tableau de distribution d'énergie ou à confirmer la tension et la résistance à l'intérieur d'un coupe-circuit ou d'un démarreur. Les multimètres numériques peuvent remplir maintes fonctions, telles que la mesure de la fréquence, des tensions C.A. et C.C., du courant et de la résistance. Ils sont assez peu dispendieux et leur précision, dans la plupart des cas, se situe en-deça de 3 pour cent.

Voltampèremètre à pince
Illustration 24

Multimètre
Illustration 25

L'appareil d'essai d'isolant (ill. 26) mesure la résistance de l'isolation des appareils eux-mêmes et des conducteurs électriques. Ces observations, relevées et consignées à intervalles réguliers, signalent normalement toute détérioration de l'isolation du conducteur. L'équipement électrique qui fonctionne dans les usines ou les édifices où des substances chimiques, la chaleur, des vapeurs ou d'autre agents accélèrent la détérioration de l'isolant du conducteur doit faire l'objet d'examens réguliers. Cette mesure peut aider à prévenir les pannes coûteuses d'équipement et les pertes de temps de la chaîne de production. Le coût des appareils d'essai d'isolant sont modérés et leur précision se situe ordinairement en-deça de 3 pour cent.

Compteurs maison

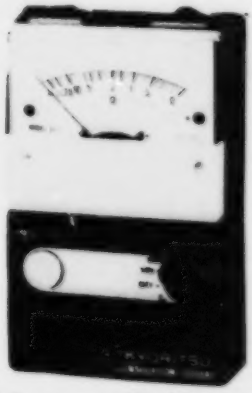
Les compteurs maison de consommation d'énergie et de demande servent souvent aux mesures sur place et à la surveillance particulière des équipements et des réseaux.

Compteurs de consommation d'énergie ou wattheuremètres

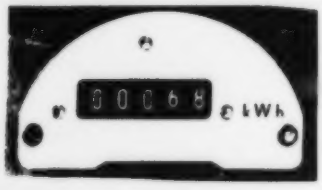
Les compteurs de consommation d'énergie enregistrent la moyenne d'énergie électrique par rapport au temps pour indiquer la consommation d'énergie. Ils mesurent les wattheures dans les systèmes à courant continu et à courant alternatif.

L'énergie consommée dans un kilowattheure est inscrite par un enregistreur. Les genres les plus répandus d'enregistreurs sont les enregistreurs à quatre et cinq aiguilles.

On a souvent recours à des compteurs munis de cadran numérique à cyclomètre (ill. 27) quand les préposés ne savent pas bien utiliser les compteurs du type enregistreur. Les compteurs d'énergie à bon marché donnent des mesures de courant pouvant atteindre 200 ampères. Au-delà de cette limite, il faut recourir à des transformateurs plus onéreux de courant et de tension. Les compteurs d'énergie sont très précis, la plupart à plus ou moins 0,3 pour cent.



Appareil de mesure d'isolation typique
Illustration 26



Cadran de cyclomètre typique
Illustration 27

Compteurs de maximum

Les compteurs de maximum de wattheures combinent en un seul montage un wattmètre et un dispositif de chronométrage. Ils mesurent en kWh l'énergie dissipée pendant un intervalle de temps donné, ordinairement de 15 ou 30 minutes. Cette mesure d'énergie par unité de temps indique la puissance moyenne en kW pendant la même durée. Ces compteurs peuvent être du type indicateur ou enregistreur. Les compteurs de pointes sont légèrement plus dispendieux que les compteurs d'énergie et leur précision se situe ordinairement en deça de 1 pour cent.

Indicateurs d'impulsions

Les compteurs de pointes à impulsions servent aux mesures dans les circuits distincts ou font partie d'un circuit qui combine ou totalise la demande de plusieurs circuits. Ils se composent d'un mécanisme d'enregistrement de demande et d'un mécanisme de mesure du temps qui déterminent les intervalles d'impulsion. Les compteurs à impulsions tout comme les compteurs de pointes peuvent être du type indicateur ou enregistreur. Il existe aussi pour les fins de la surveillance totale des enregistreurs électroniques qui peuvent enregistrer les impulsions qui s'analysent

sur de petits ordinateurs. Ces indicateurs à impulsions se vendent à un coût raisonnable et ils ont les mêmes caractéristiques de précision que les compteurs standard à pointes.

Transformateurs d'instruments

Les transformateurs d'instruments servent à isoler les compteurs quand il faut les protéger contre des tensions et des courants très élevés. Ils constituent un élément important de l'appareillage de mesure de la plupart des applications commerciales et industrielles. Les transformateurs de potentiel ou de tension s'emploient de pair avec des voltmètres ou avec les enroulements de potentiel des wattmètres. Les transformateurs de courant servent dans les cas où le courant à mesurer excède le courant que peuvent tolérer les enroulements de courant des wattmètres ou des ampèremètres ou lorsqu'il est opportun d'installer l'appareil à une distance appréciable des circuits principaux, dans les tableaux de distribution, par exemple. Les transformateurs d'instruments réduisent les tensions et les courants du primaire à des valeurs faciles à mesurer et ils assurent un moyen de les combiner.

Conducteurs

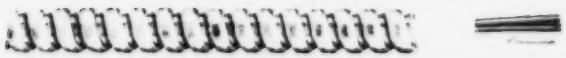
Un bon conducteur est un fil qui par conception a peu de résistance ohmique, est assez léger et a une grande résistance mécanique en tension. Les conducteurs de cuivre et d'aluminium qui sont dotés de ces caractéristiques servent intensément dans la plupart des applications électriques. Cependant, les conducteurs d'aluminium doivent être installés par des électriciens familiers avec la quincaillerie sans soudure et avec les autres aspects de leur utilisation.

Dimensions des conducteurs

Il existe des conducteurs solides et des conducteurs tressés. Les conducteurs tressés se composent de plusieurs conducteurs solides de plus petit diamètre tordus ensemble. Ils assurent plus de souplesse aux gros conducteurs. Les dimensions des fils sont normalisés à une extrémité de l'échelle se trouve du fil de 0,100 mm de diamètre et chaque taille successive de fil est 1,122 fois plus grosse que la précédente. Le diamètre des conducteurs s'exprime en millimètres carrés (mm2). Le système American Wire Gauge (AWG) qui s'applique encore aux États-Unis a été utilisé au Canada jusqu'à l'adoption du système métrique. Selon le système AWG, les dimensions des conducteurs commencent à un diamètre de 0,005 po et chaque diamètre suivant est 1,123 fois plus grand que le précédent. L'aire d'un conducteur s'exprime en <<circular mils>> dont chacun est l'équivalent de l'aire d'un conducteur dont le diamètre a 0,1 mil ou un millième de pouce.

a) câble gainé non métallique

b) conducteur isolé avec du PCV



c) câble blindé avec conducteurs isolés avec du polyéthylène

d) conducteur blindé revêtu, isolé avec du polyéthylène

Fils isolés
Illustration 28

Isolation

Les conducteurs, solides ou tressés, peuvent aussi être nus ou isolés. Les conducteurs nus servent dans certains circuits aériens ou dans des endroits où ils sont peu exposés à venir en contact avec la masse ou à être court-circuités, étant donné que l'électricité suit invariablement la ligne de moindre résistance. Les conducteurs qui s'emploient dans les maisons, les bureaux, les usines et les édifices sont normalement entourés d'une enveloppe de caoutchouc synthétique ou de vinyle. Certains genres d'isolants sont en même temps des protecteurs; c'est le cas de l'armure d'acier ou d'aluminium qui enveloppe le conducteur. Le tableau 3 illustre les caractéristiques de certains types les plus répandus de fils isolés utilisés dans les édifices et les usines. L'illustration 28 montre un assortiment de conducteurs typiques.

Transformateurs

Il se produit à l'intérieur des transformateurs électriques qui servent à élever ou abaisser la tension dans un circuit à courant alternatif des pertes qui se dissipent subséquemment sous forme de chaleur. Il existe deux méthodes principales de dissiper ces pertes à l'intérieur du transformateur : le système par immersion dans un liquide et le système de refroidissement à l'air.

Dans la pratique, tous les transformateurs industriels sont de type triphasé. Les transformateurs monophasés s'emploient ordinairement à l'intérieur d'un édifice pour alimenter les circuits d'éclairage et les petites charges électriques.

Refroidissement par immersion dans un liquide

Dans les transformateurs refroidis par immersion dans un liquide, les enroulements baignent dans un liquide emmagasiné dans le réservoir du transformateur. Ce liquide absorbe la chaleur qui est dissipée/absorbée par convection naturelle ou par plusieurs autres moyens tels que des souffleries et des serpentins de refroidissement. Les sous-stations en plein air sont ordinairement munies de transformateurs à refroidissement par immersion.

DPC

Pendant de nombreuses années, on a fait un usage abondant de diphényles polychlorurés comme agent de refroidissement des transformateurs, des régulateurs et des condensateurs. On s'est rendu compte que ces liquides sont néfastes et on en a interdit l'usage dans les nouveaux appareils électriques. Les transformateurs à liquides de refroidissement contenant plus de 50 parties par million de DPC doivent être munis d'une étiquette indiquant qu'ils contiennent un liquide contaminé par cette substance. Au Canada, une fois qu'ils sont munis de cette étiquette, on peut les utiliser pendant le reste de leur durée utile. Il faut s'assurer périodiquement qu'il ne s'y trouve pas de fuites du diélectrique et les soumettre à un programme d'entretien plus rigoureux. Les renseignements touchant les inspections courantes et le nettoyage du DPC sont disponibles auprès d'Environnement Canada.

Le remplissage après coup des transformateurs refroidis au DPC, qui comporte la vidange des diphényles, le rinçage du transformateur et le nouveau remplissage avec un liquide sans diphényle n'a pas réussi, de façon générale, parce qu'en peu de temps, des résidus de diphényle provenant de diverses parties des enroulements s'infiltrent dans le nouveau liquide et la limite permise de 50 ppm est vite excédée. Le seul moyen connu pour maintenir le nouveau liquide en-deça des limites consiste à poursuivre le filtrage périodique pour retirer le DPC de l'huile du transformateur. Bien qu'en général on ait jugé cette formule non économique, la solution retenue consiste à utiliser le transformateur jusqu'à la fin de sa durée utile et de le remplacer ensuite par un neuf. Les exceptions possibles à cette norme sont les transformateurs installés dans des endroits où la vidange et la substitution sans exposer les enroulements seraient extrêmement difficiles, comme dans le cas des appareils installés dans un compartiment d'électricité à l'étage supérieur d'un gratte-ciel de bureaux.

Transformateurs secs

Dans les transformateurs secs, la chaleur se dissipe directement par conduction et par convection naturelles. Ces appareils sont plus dispendieux que les transformateurs à refroidissement par immersion mais leur installation n'exige pas de voûte ni de dispositif spécial d'aération. Il suffit de veiller à leur aération et au nettoyage de la poussière qui peut s'y accumuler; ils n'exigent aucune des méthodes d'entretien des transformateurs refroidis par liquide. La résistance de leur isolation contre la foudre et les surtensions n'est environ que la moitié de celle des transformateurs à liquide. Les transformateurs secs se classent selon l'élévation de température qu'ils tolèrent. Ceux dont l'élévation nominale de température est plus faible ont moins de pertes d'enroulement et une plus longue durée probable. Ces avantages compensent ordinairement leur plus grand prix d'achat.

Le tableau 4 compare les transformateurs à liquide aux transformateurs secs quant aux prix, à la taille, aux pertes et au rendement.

Pertes de transformateur

Les catalogues des fabricants ne font pas mention des pertes des petits transformateurs; elles sont normalement inférieure à 500 kVA. Les gros transformateurs sont construits d'après des spécifications et on les vend selon la formule du moindre coût évalué. Selon cette formule, la valeur des pertes du transformateur <<sans charge>> s'ajoute

au coût estimé du transformateur proprement dit, pour arriver à une évaluation totale du coût.

Pour un transformateur donné dont on a déterminé les tensions à l'entrée et à la sortie et l'élévation maximale de la température, l'application de cette formule exige une approximation de la durée de fonctionnement du transformateur et du coût de l'électricité pendant sa durée utile estimée. Le fabricant doit aussi évaluer la différence de prix entre les appareils standard, à grande perte dans le fer ou à faible perte dans le fer. Ici comme ailleurs, la prévision de hausse des coûts de l'électricité favorise la demande de transformateurs plus efficaces du point de vue énergétique.

L'achat d'un transformateur nécessite un travail d'équipe entre l'acheteur, la société de service public et le fabricant afin de s'assurer que le calcul du coût total évalué se fonde sur les données les plus justes.

Moteurs

Étant donné que les moteurs transforment l'énergie électrique en énergie mécanique, le choix du moteur approprié à une application donnée exige l'examen de nombreux facteurs. Ces facteurs comprennent les exigences de l'équipement entraîné comme le démarrage, l'accélération, la vitesse, la charge et le cyclage de service, ainsi que d'autres considérations touchant les conditions de service, l'efficacité que doit avoir le moteur, son effet sur le facteur de puissance et les contraintes économiques.

Du point de vue de la distribution du système, il existe une taille maximale pratique de moteurs pour chaque source d'approvisionnement en électricité. Ainsi, la taille de 2 HP est le maximum acceptable pour un circuit monophasé de 120 volts; une puissance de 10 HP est le maximum acceptable pour un circuit monophasé de 240 volts.

Les limites supérieures sont déterminées par la tension de distribution et la taille du transformateur utilisé.

La plupart des fournisseurs d'énergie électrique imposent une limite à la taille d'un moteur qu'il est permis de brancher à une ligne monophasée en raison des forts courants de surcharge qui accompagnent le démarrage de ces moteurs. Ces surcharges créent des perturbations qui peuvent avarier l'équipement du fournisseur et parfois même celui des autres abonnés. Il est donc recommandable de s'informer auprès de la société de service du lieu avant de procéder à l'installation d'un gros moteur.

Protection

De nombreuses sections du Code canadien de l'électricité traitent de la protection des moteurs. La plupart des moteurs à courant alternatif qui démarrent à pleine tension exigent un fort courant de démarrage. Ce <<courant de surcharge>> comme on l'appelle communément,peut atteindre des valeurs huit fois plus grandes que le courant de pleine charge du moteur. Le courant de surcharge reprend ensuite sa valeur nominale à mesure que le moteur se rapproche de sa pleine vitesse. En conséquence, la plupart des circuits de moteur exigent deux genres de protection. Le circuit de dérivation du moteur doit laisser passer le courant d'appel mais il doit aussi protéger le circuit contre la surcharge. De la même façon, il faut prévoir un supplément de protection au voisinage du moteur contre les surcharges imputables à différentes causes.

Contrôle de la vitesse

L'énergie électrique dissipée par un moteur est proportionnelle à sa vitesse. Plus la vitesse est élevée, plus grande est la consommation d'énergie.

La disponibilité d'un grand nombre d'entraînements à vitesse réglable a stimulé les études sur l'économie de ces entraînements dans les applications de contrôle du courant. Dans ces applications, l'utilisation d'entraînements à vitesse réglable peut épargner d'énormes quantités d'énergie quand l'équipement entraîné fonctionne avec une charge partielle suffisante. En tels cas, on peut utiliser avantageusement l'efficacité totale plus élevée de l'ensemble du système d'entraînement et de l'équipement entraîné.

Les applications de contrôle de débit comprennent les souffleries à volume d'air variable, les pompes d'eau d'alimentation et les pompes de transbordement.

Dans une évaluation poussée des coûts, on a comparé pour une durée d'un an les coûts des entraînements à vitesse constante et à vitesse réglable, du câblage et des transmissions, de l'espace occupé, de l'équipement de contrôle du débit (soupapes et amortisseurs, par exemple) et de l'électricité.

Entraînement à vitesse réglable

On a constaté que les entraînements à vitesse réglable sont économiquement réalisables dans la plupart des applications, même à des tarifs d'électricité relativement bas. Au Canada, les économies d'énergie imputables aux

entraînements à vitesse réglable sont en moyenne de 2,6 pour cent pour toute la consommation d'électricité de l'industrie. Ces économies vont de 0,5 pour cent dans les usines sidérurgiques, les aciéries, les fonderies et les usines d'affinage à 10,6 pour cent dans les raffineries de pétrole. On estime qu'on pourrait aussi économiser 2 pour cent de toute la consommation de l'énergie commerciale. Cette économie va de 0,6 pour cent dans les magasins à rayons, les magasins de détail et les services, à 7,7 pour cent dans les hôpitaux.

Le module 4 (Moteurs électriques à efficacité énergétique) de la présente série contient plus de détails sur les moteurs.

Électrotechniques

Récemment, on a vu arriver de nombreuses percées importantes dans le domaine de l'électrotechnique. Les grandes électrotechnologies comprennent le chauffage par résistance, le chauffage par induction, le chauffage aux infrarouges, les pompes thermiques, la recompression mécanique de la vapeur, les arcs à plasma, les arcs électriques et les micro-ondes.

Ces progrès ont été amorcés par les développements de la surveillance informatisée de nombreux procédés industriels, de pair avec le développement de l'équipement d'automatisation de l'industrie. Ces percées ont fait que les électrotechniques peuvent maintenant déboucher sur une augmentation de l'efficacité énergétique de nombreux procédés thermiques. En canalisant la quantité exacte de chaleur à l'endroit et au moment où il en faut, les électrotechnologies peuvent souvent remplacer des sources d'énergie plus encombrantes et moins efficaces énergétiquement.

L'installation de pompes thermiques industrielles et de systèmes de recompression mécanique de la vapeur dans plusieurs procédés industriels peut entraîner des augmentations spectaculaires de l'efficacité énergétique. Le lecteur est prié de se reporter aux modules 8 (Systèmes de vapeur et de condensation) et 11 (Réfrigération et pompes thermiques) de la présente série. On y traite en détail de la façon d'améliorer l'efficacité de l'énergie de ces systèmes. Chaque électrotechnologie a des applications spécifiques. Ainsi, celle du chauffage par résistance et le chauffage aux infrarouges constituent environ 75 pour cent du total des applications électrotechnologiques. Dans le texte qui suit, on s'en tient à leurs caractéristiques fondamentales.

Le chauffage par résistance est l'électrotechnique la mieux connue et la plus répandue. Il existe deux modes fondamentaux de chauffage: direct et indirect. Dans le cas du chauffage direct (ill. 30), un courant électrique traverse le matériau à chauffer. L'effet thermique ou la chaleur produite est égale à

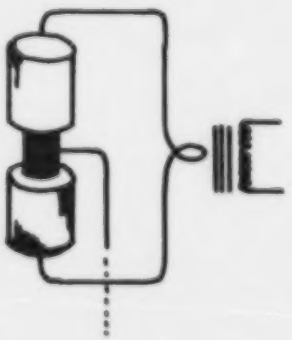
$W = I^2 R$ où

W = Watts (W)

I = Courant (A)

R = Résistance (Ω)

Les exemples de chauffage par résistance directe comprennent le préchauffage et le traitement thermique des métaux, la fusion du verre, le soudage et la production de vapeur.

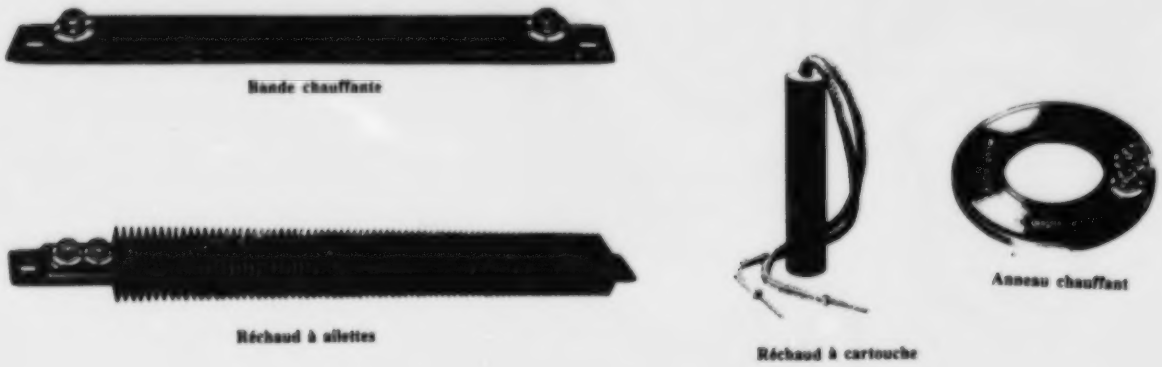


Chauffage direct
Illustration 29

Dans le cas des systèmes indirects de chauffage par résistance (ill. 30), la chaleur est produite par des fils ou des éléments chauffants. Cette chaleur est transmise au matériau ou à l'air à chauffer.

Le chauffage des pièces, des fours, des séchoirs ainsi que de nombreuses appplications sont des exemples de chauffage indirect. Le chauffage aux infrarouges (ill. 31) est une électrotechnique qui transmet directement la chaleur par radiation depuis une source d'énergie à haute température (de 350 à 2300°C) à la substance à chauffer, sans absorption directe sensible de chaleur par l'air ambiant. Cette source d'énergie peut être faite de fil à résistance ou de résistances entourées de pyrex, de céramique, d'acier, de silice ou constituée de lampes à filament de tungstène. Les systèmes à infrarouges servent surtout au chauffage des surfaces comme le séchage de la peinture et la polymérisation. Ils peuvent aussi servir au chauffage des pièces comme les garages et les usines à plafonds très élevés ou les locaux adjacents aux portes de chargement, lieux normalement difficiles à chauffer avec des systèmes ordinaires par convection.

Le chauffage direct, le chauffage indirect et le chauffage aux infrarouges acheminent directement la chaleur là où il en faut; ils ont donc un rendement énergétique supérieur à 90 pour cent.



Chauffage indirect à résistance
Illustration 30

Chauffage par infrarouges
Illustration 31

Choix du réchaud électrique

Il faut choisir les réchauds électriques fonctionnant par résistance ou par infrarouges selon leur fonction, leur type, leur capacité, leur milieu, leur tension et leur température de fonctionnement. Ainsi, un réservoir contenant une solution faible à 500° C peut fonctionner au moyen d'un réchaud immergé. Les principales catégories de réchauds sont décrites succintement au tableau 6. Les réchauds industriels varient en capacité entre quelques centaines de watts et plusieurs centaines de kilowatts. Il en existe de toutes les tailles ordinaires pour toutes les tensions des réseaux de distribution standard mono et triphasés. Les fabricants fournissent normalement des fiches de leurs produits qui simplifient le choix judicieux des réchauds électriques pour des centaines d'applications diverses.

Condensateurs

Les condensateurs électriques (ill. 32) sont des appareils fort simples. Ils ne possèdent aucune pièce mobile et se composent d'électrodes en plaques séparées par un matériau isolant.

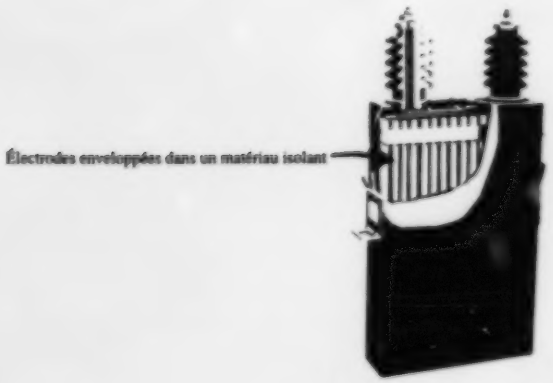
Les condensateurs réduisent les coûts d'électricité, haussent les niveaux de tension et permettent au système électrique de fournir sa pleine capacité. Ils sont faciles à installer, accusent des pertes électriques relativement faibles et demandent très peu d'entretien.

On en tire les meilleurs avantages en gestion d'énergie quand ils sont installés au point de charge électrique afin de réduire les pénalités de facteur de puissance et les pertes de chaleur dans le câble d'alimentation.

Plus le condensateur est grand, plus l'exothermie est lente. Ce facteur limite donc le format économique des condensateurs à environ 15 kVar pour les unités de 240 volts et à environ 60 kVar pour les unités de 600 volts. Les banques de condensateurs de grande capacité se composent d'autant de petits condensateurs qu'il le faut. Conséquemment, les condensateurs doivent être installés dans un endroit bien ventilé.

Les condensateurs, dont les tensions vont de 240 volts à 34,5 kV, s'utilisent dans les usines industrielles, les édifices et les systèmes de distribution, électrique, et sont offerts en versions pour l'intérieur et pour l'extérieur.

Il faut étudier avec soin le choix et l'emplacement des condensateurs. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte comme les économies, les kW et kVA émis et le coût des options. Les condensateurs de faible tension sont plus onéreux que les unités de tension plus élevée. Toutefois, rectifier le facteur de puissance à l'entrée de service pourra demander moins de capacité qu'à des points particuliers puisque la plupart des usines n'ont que quelque 60 pour cent de la charge connectée opérationelle à un moment quelconque. Le coût de rectification à l'entrée de service pourra exiger des capacités de commutation qui assortiront la capacité de rectification avec la charge.



Condensateur
Illustration 32

Équipment de contrôle de la charge

La raison principale de l'équipment de contrôle de la charge est de limiter la demande de pointe d'une installation électrique.

Un système type mesure la demande en électricité et la compare à un point de référence maximal établi par l'utilisateur. Lorque la demande mesurée excède ce point, l'équipment de contrôle débranche ou élimine automatiquement les charges non essentielles, selon une priorité établie, jusqu'à ce que la demande de pointe soit ramenée au niveau voulu. Les circuits sont automatiquement rebranchés au fur et à mesure de la réduction de la demande de pointe (ill. 33).

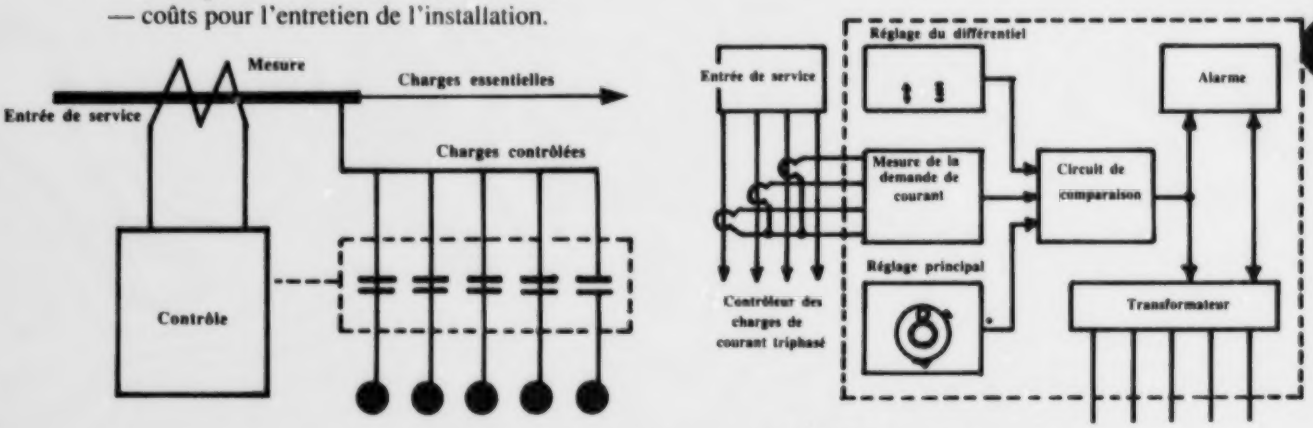
Il existe trois grandes catégories de systèmes de gestion et de contrôle de l'énergie (SGCÉ): localisés, limités à distance et multifonctions ou centralisés à base d'ordinateur. Les systèmes localisés fournissent un contrôle indépendant de systèmes et d'équipments particuliers et sont relativement peu coûteux. Pour sa part, un contrôleur de demande à fonction limitée s'interface à plusieurs systèmes et dispositifs consommant de l'énergie afin de limiter la demande en électricité; c'est le cas des systèmes limités à distance et multifonctions.

Plusieurs de ces contrôleurs sont programmables. Les systèmes centralisés sont généralement contrôlés à partir d'une salle de commande où se trouve un mini- ou un micro-ordinateur. L'ordinateur surveille et contrôle divers points selon les instructions programmées ou par une interface homme-machine. Il peut être programmé pour accomplir une série de fonctions de contrôle (sorties) selon le nombre et le type de circuits entrée/sortie, la dimension de la mémoire et la capacité de l'unité de traitement.

Le choix d'un système exige habituellement l'étude de plusieurs facteurs comme l'habilité de contrôler des fonctions donnés, la facilité d'entretien par le personnel de la place ou un tiers, la fiabilité en termes de taux réduit d'arrêts et de pannes, la capacité d'expansion et le niveau de programmation ou la facilité avec laquelle on peut modifier les programmes existants.

Les avantages d'un système de contrôle au point de vue des coûts dépendent de ces facteurs:

— économies estimés en coût d'électricité,
— coûts pour l'installation du contrôle et
— coûts pour l'entretien de l'installation.



Schémas de câblage de systèmes de contrôle type
Illustration 33

Alimentation ininterrompue et alimentation d'urgence

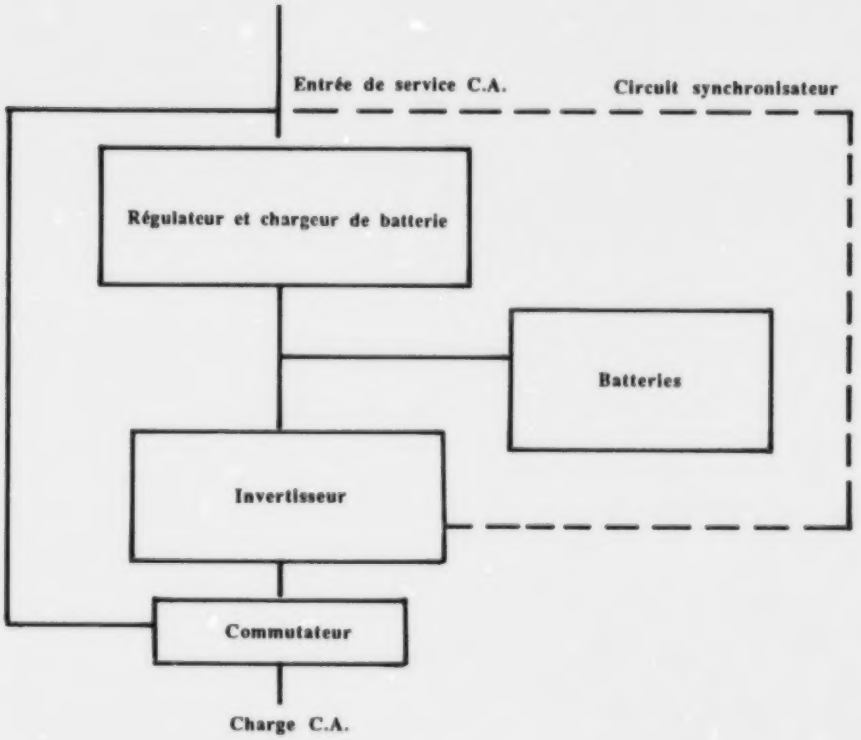
Les générateurs d'électricité d'urgence et d'appoint assurent le maintient d'un service essentiel lors de pannes prolongées de courant. Ils sont généralement mûs par moteur à essence, diesel ou au gaz naturel. Un commutateur (habituellement automatique) transfère les charges désignées de la ligne de service à la sortie du générateur dès qu'il y a interruption du service.

Les alimentations ininterrompues (ill.34) sont installées pour assurer que les services essentiels ne soient pas dérangés par des interruptions momentanées de courant qui peuvent ne durer qu'une fraction de cycle.

Les systèmes qui, habituellement, ne supportent pas les interruptions sans risque de bris ou de problèmes graves sont les contrôles et les brûleurs de chaudière, les instruments électroniques de contrôle des procédés, les ordinateurs, les alarmes critiques, les analyseurs, les potentiomètres, l'équipment critique de télécommunications et certains types de relais et de solénoïdes.

Les alimentations ininterrompues peuvent fournir un courant continu ou alternatif. Les unités à C.A. sont très courantes car les charges qu'elles fournissent doivent rarement être modifiées. Elles se composent ordinairement d'un rectificateur transisitorisé, d'un chargeur de batteries, d'une batterie C.C. et d'un inverseur transistorisé.

Les unités à C.A. viennent généralement dans les capacités de 250, 500 et 1000 volts-ampères et avec une série d'options. Les choix de batteries peuvent supporter une pleine charge pour une durée de quelques minutes à plusieurs heures. Parmi les autres options on retrouve une alarme à distance, des modifications de fréquence de sortie et une capacité de surcharge de points pour les moteurs électriques. Les alimentations ininterrompues sont offertes en modules qui peuvent être combinés pour convenir exactement aux besoins de l'utilisateur.



Circuit type d'alimentation ininterrompue C.A.
Illustration 34

POSSIBILITÉS DE GESTION DE L'ÉNERGIE

On entend par occasions favorables d'économie d'énergie les nombreuses manières et méthodes d'utiliser judicieusement l'électricité pour économiser de l'argent. Il est question dans la présente section de plusieurs occasions favorables d'économie d'énergie sous les titres Occasions favorables dans le milieu, Occasions à bon compte et Occasions de modernisation. Les occasions dont il est question ici et les exemples qui les accompagnent dans les trois sections correspondantes n'épuisent pas le sujet mais elles devraient aider tous ceux qu'intéresse la gestion et l'utilisation des systèmes électriques dans les usines et les édifices à appliquer les données contenues dans ces sections selon leur propre besoin.

Occasions favorables dans le milieu

Les occasions favorables dans le milieu sont des mesures d'économie d'énergie qui s'appliquent de façon régulière, au moins une fois l'an. Suit une liste de quelques occasions typiques d'économie d'énergie qui se rangent dans cette

1. Connaissance de la note d'électricité. L'administration de la note d'électricité est le début d'un programme efficace d'économie d'énergie. Il importe de bien comprendre tous les aspects pertinents de la note de la société de service public.
2. Extinction de tous les appareils électriques inutilisés. Il s'agit ici d'éventails, de cafetières électriques, d'étalages, d'appareils d'éclairage, de pompes et de compresseurs.
3. Débranchement complet de tout équipement et appareils jusqu'au moment de les réutiliser
4. Identification de tous les gros équipements branchés au réseau de distribution électrique, comme les moteurs, les transformateurs, les systèmes d'énergie sans coupures et les mécanismes de commutation.
5. Établissement d'un programme d'entretien du système électrique.
6. Mise en oeuvre d'un programme d'économie d'énergie intéressant les employés.
7. Diminution de la demande d'électricité en décalant les travaux et les opérations de manière à amenuiser la demande de pointe.

Exemples détaillés d'occasions d'économies dans le milieu

1. La connaissance de la note d'électricité.

Un élément important de tout programme d'économie d'énergie électrique est l'établissement d'un dossier des notes d'électricité antérieures (de préférence, de celles des 12 mois précédents) pour chaque compteur.

La feuille des données sur les coûts d'électricité peut être utile à cette fin. Les notes des fournisseurs d'électricité peuvent servir de source de données. A défaut de ces notes, les services publics fournissent normalement à qui les demande les renseignements voulus sur la facturation. Les exemples suivants font voir les données de facturation d'un an d'une usine industrielle typique.

Sommaire de la facturation

La feuille des données n° 1 sur les coûts d'électricité à la fin de la présente section donne en détail l'échantillonnage des renseignements sur la facturation de la société pour une durée de 12 mois. On y voit que la consommation de kWh a varié d'un sommet de 1 944 100 kWh en janvier à un creux de 1 125 360 kWh en août. D'autre part, la demande mensuelle de pointe a varié d'un sommet de 4500 kW en janvier à un creux de 3126 kW en août, période pendant laquelle la production a été au ralenti.

La demande facturée mesurée en kW a excédé la demande réelle en kW pendant les mois de mars, avril, septembre

et octobre. Pendant ces mois, le facteur de puissance spécifié dans le tarif du fournisseur du lieu (90 pour cent) a excédé la demande réelle de kW du fait que l'usine a fonctionné à un facteur de puissance inférieur à 90 pour cent et qu'on a fait fonctionner des équipements spéciaux munis de moteurs à faible facteur de puissance. L'abonné a donc payé une amende par le biais de l'application de la clause de facteur de puissance (kVA = 90 pour cent). (Voir section <<Facteur de puissance - Exemple de calcul>>.)

Le coût de l'électricité achetée pendant cette période s'est élevé à 975 488 $, soit une moyenne de 0,053$ par kWh.

Tarif

Le tarif du fournisseur servant au calcul de facturation est un tarif à tranches variables. Il est établi comme suit:

5 $ par mois par kW de demande de facturation
0,06 $ par kWh pour les 120 premières heures de demande de facturation
0,04 $ par kWh pour les 7800 kWh suivants et
0,03 $ par kHW pour le solde de toute la consommation.

Dans le cas actuel, la demande de facturation se calcule selon la valeur la plus élevée des deux suivantes: la demande kW maximale mensuelle réelle ou la demande kVA à facteur de puissance de 90 pour cent.

Considérations sur l'efficacité

Ce qui précède établit qu'une amélioration du facteur de puissance aurait diminué la demande de facturation et par conséquent, la note d'électricité pendant quatre mois lorsque la demande de facturation excédait la demande kW réelle. Étant donné que c'est l'équipement spécial fonctionnant pendant 4 mois qui a abaissé le facteur de puissance global de la société, le rendement du coût d'installation d'un condensateur directement sur cet équipement devient apparent. L'amende imputable à la faiblesse du facteur de puissance pendant ces quatre mois s'élève à 8133 $. Une estimation préliminaire révèle que le coût du condensateur servant à corriger ce faible facteur de puissance des gros moteurs s'élèverait à quelque 7500 $. Cette mise de fonds correspond à une durée de remboursement de moins d'un an. Cette économie se calcule en soustrayant la note mensuelle d'électricité après la correction du facteur de puissance de la note figurant sur la feuille de données sur les coûts pour chacun des 4 mois en question. Exemple:

Total des économies:
2072 $ + 2029 $ + 1978 $ + 2054 $ = 8133 $

En augmentant le facteur de charge qui est en moyenne:

$$\frac{1\,944\,100}{4500 \times 720} \times 100 = 60\ \%$$ en janvier

et

$$\frac{1\,125\,360}{3126 \times 720} \times 100 = 50\%$$ en août

On aurait aussi abaissé la note d'électricité en abaissant les frais de demande et en décalant une plus grande partie de la consommation vers le dernier niveau du tarif à tranches variables, 0,03$ par kWh.

On aurait pu y arriver en appliquant la technique de contrôle de demande si les charges électriques de l'usine avaient été appropriées. On l'a vu précédemment, l'application des techniques de contrôle des charges pour écréter les pointes exige l'examen des profils de charge des jours de pointe pendant le mois afin de mieux déterminer son potentiel.

2. Extinction de tous les appareils électriques

De façon générale, les économies découlant de cette technique sont en rapport direct avec le nombre de kilowatts qu'on éteint et la durée totale de leur extinction. Les économies peuvent s'évaluer en appliquant le prix moyen par kWh figurant dans la feuille de données n° 1 sur le coût de l'électricité. Une liste typique de pointage de fermeture

se trouve sur la feuille de travail n° 2. Les listes de ce genre doivent être adaptées aux besoins individuels.

3. Débranchement de l'équipement inutilisé

On peut parfois se passer pendant assez longtemps de certains équipements et dispositifs électriques comme les souffleries d'aération dans les compartiments d'emmagasinage ou dans les machines de production inutilisées. En tels cas, en les débranchant de leur source d'approvisionnement électrique, on applique une mesure de sûreté qui peut empêcher une personne non autorisée de mettre cet équipement en marche et peut-être blesser quelqu'un. Cette disposition est aussi une source d'épargne de coûts, comme dans le cas des transformateurs qui continuent d'absorber de l'énergie quand ils sont branchés.

4. Examen du réseau de distribution électrique

Il ne suffit pas d'analyser les données de facturation; il faut encore effectuer un examen du réseau de distribution électrique, surtout dans les cas où les plans d'origine de distribution électrique ont été modifiés au cours des années. C'est un examen qu'il faut confier à des personnes versées en entretien d'usine et d'édifice. Il doit porter sur tous les organes de l'usine ou de la sous-station de l'édifice, sur l'interrupteur principal, sur la protection et enfin sur chaque circuit de dérivation.

Les résultats de cet examen qui doivent figurer aux archives peut révéler des difficultés qu'il faut corriger. Il peut s'agir :

• de moteurs qui fonctionnent à une température trop élevée et qui mettent trop de temps à atteindre leur vitesse normale de régime,

• d'appareils d'éclairage qui clignotent ou qui donnent peu de lumière,

• de connexions électriques lâches ou de mauvais contacts qui augmentent les pertes et peuvent produire un excès de chaleur, des arcs et peut-être devenir dangereux et susciter des pannes de l'équipement électrique. On fait parfois usage de balayage thermique à infrarouges. Grâce à une interprétation appropriée des thermogrammes et des photos en temps réel, il permet de déceler automatiquement les tailles ou les <<points chauds>>. Si tel est le cas, on peut apporter des correctifs et réparer l'équipement avant que se produise une panne onéreuse,

• de compartiments d'équipement électrique poussiéreux et mal aérés, de batteries qui peuvent engendrer une atmosphère déflagrante et accélérer la détérioration des composantes électriques et électroniques. Ces compartiments doivent être tenus au sec. Une aération appropriée empêche l'accumulation de chaleur, d'humidité et de gaz corrosifs,

• de condensateurs mal aérés et situés dans des compartiments poussiéreux et

• de circuits mal raccordés à la masse et aux appareils à cause de mauvaises connexions, de corrosion à la prise de terre ou pour quelque autre raison.

5. Établissement d'un programme d'entretien de l'électricité

C'est le suivi normal de l'examen décrit précédemment; on a identifié les mesures d'urgence, défini l'entretien normal et précisé les améliorations à longue échéance. Tout ce qui peut finir par menacer la vie ou l'équipement doit faire l'objet d'une priorité. Selon les conditions d'exploitation, les travaux d'entretien d'électricité peuvent s'effectuer périodiquement suivant un programme ou on peut les effectuer pendant les périodes prévues de fermeture. Ce programme d'entretien de l'électricité doit comprendre:

• une vérification régulière des niveaux de tension des circuits d'éclairage et d'électricité; le bon fonctionnement de l'équipement d'éclairage peut s'évaluer simultanément,

• un examen qualitatif régulier de la qualité de l'isolation des conducteurs et des appareils électriques,

• un programme de lubrification des moteurs étant donné que les moteurs mal lubrifiés ont plus de pertes par frottement et sont exposés à se détériorer,

• une vérification régulière de tous les compartiments de batteries. S'il s'agit de batteries à électrolyte, cet électrolyte doit être maintenu à un niveau approprié,

• une vérification régulière de la température, de l'humidité, des vibrations et de l'atmosphère de tous les compartiments d'équipement et de transformateurs;

• une vérification régulière des charges des transformateurs et des autres conditions de leur fonctionnement. Les transformateurs doivent être bien aérés. S'ils sont en pein air, il faut les protéger contre le soleil pendant les mois les plus chauds afin de diminuer les pertes et prévenir les accumulations de chaleur. Les transformateurs qui ne doivent pas être utilisés pendant un certain temps doivent être débranchés pendant toute la durée de leur inactivité,

• un programme régulier d'entretien de l'équipement électrique comprenant les ascenseurs, les escaliers roulants,

les appareils d'éclairage extérieur et intérieur, en conformité des recommandations du fabricant,

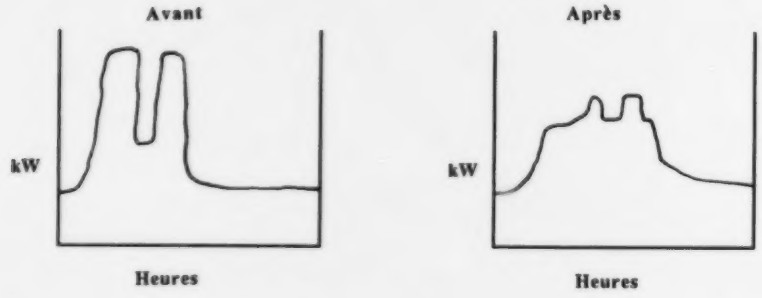
- vérification régulière de toutes les connexions à la masse et à la ligne et
- une vérification régulière de tous les condensateurs et de leurs installations de commutation.

6. Mise en oeuvre d'un programme engageant les employés

Dans une usine ou un édifice, la plupart des occupants contribuent directement à la consommation de l'électricité. Par voie de conséquence, chacun contrôle dans une certaine mesure la quantité d'électricité qu'on y dissipe. En économie d'énergie, toute mesure efficace comporte une action concertée. D'ordinaire, on y parvient en communicant avec le personnel par des voies internes sous forme de notes, de signaux de rappel, de réunions et de contacts personnels. Un comité de gestion d'énergie qui groupe tous les chefs de service intéressés constitue une technique d'économie d'énergie qui s'est avérée efficace dans nombre d'industries et d'établissements.

7. Diminution de la demande d'électricité en reprogrammant les travaux et les opérations (modèle de feuille de travail n° 3)

Une analyse de la consommation d'énergie électrique préparée en s'inspirant d'un sommaire de facturation et tirée des charges consignées dans un examen du système de distribution électrique peut susciter des mesures à prendre sur les lieux, qui peuvent abaisser la demande d'électricité sans comporter nécessairement des frais importants. Par exemple, il peut être possible d'échelonner le fonctionnement de deux fours électriques et de cette façon, abaisser la pointe de demande qu'ils pourraient occasionner autrement. Autre exemple: on peut constater dans le modèle de feuille de travail de mesures de décalage que la charge de pointe d'une usine a atteint 650 kW entre 10 et 11 heures



Profils des charges quotidiennes

Illustration 35

et 15 et 16 heures les jours où la production a atteint son maximum. Une analyse du profil et des charges appliquées pendant la période de demande de pointe révèle que l'éclairage, les petits moteurs et diverses charges contribuaient à raison de 180 kW. Les bandes transporteuses et un four ajoutaient encore 280 kW. Aucune de ces charges ne pouvait se reprogrammer commodément sans entraver la production. D'autre part, deux fours absorbaient chacun 90 kW de demande pendant qu'un chauffe-eau en prenait 10.

Une analyse du procédé de production a révélé que le chauffage des fours pouvait s'échelonner pendant les périodes de pointe et amenuiser de cette façon la demande de pointe de 90 kW. En outre, on pouvait facilement débrancher de façon définitive l'élément d'un chauffe-eau étant donné que les réservoirs d'emmagasinage d'eau étaient assez gros pour satisfaire aux besoins en faisant fonctionner un chauffe-eau de 5 kilowatts pendant presque toute la période de 24 heures.

Ces dispositions ont abaissé la pointe de 95 kW et ont donné une économie mensuelle de 475 $. Observer que seul le coût de facturation de kW entre en ligne de compte dans l'établissement préliminaire des épargnes. Quand on applique un tarif à tranches variables, c'est une estimation prudente car, comme on l'a montré précédemment dans la section des tarifs, une demande plus élevée déplace plus de consommation de kWh vers la première tranche de prix supérieur. Une demande plus faible diminue non seulement la note de demande de kW mais aussi le prix moyen des kWh. Aucune mise de fonds spéciale n'a été nécessaire; il a suffi de donner des instructions précises aux préposés au chauffage des fours. La consommation d'énergie est essentiellement la même après le décalage. L'illustration 35 montre le profil quotidien de charge avant et après l'application de cette disposition pour une journée typique de pointe.

Occasions favorables à bon compte

Les <<occasions à bon compte>> mises en oeuvre sont des mesures d'économie d'énergie qu'on peut appliquer une fois sans déboursés exagérés. On décrit ci-après des occasions types d'économie d'énergie de cette catégorie.

- Correction du facteur de puissance du système de distribution électrique et/ou des moteurs distincts.
- Installation d'équipement simple mais efficace d'économie de charge.

Exemples détaillés d'occasions à bon compte

1. Correction du facteur de puissance

La feuille de correction du facteur de puissance n° 4 illustre le cas d'un édifice dont la demande mensuelle de pointe est de 280 kW et dont la lecture kVA est de 360. Cet édifice comporte un certain nombre de ballasts d'éclairage fluorescent de qualité moyenne et des moteurs à faible facteur de puissance. Un examen préliminaire révèle qu'il ne serait pas économique de corriger le facteur de puissance ailleurs qu'à proximité de l'entrée de service.

Le multiplicateur global figurant sur la note d'électricité est de 10. Par conséquent, la consommation réelle s'établit comme suit:

Lecture x multiplicateur = consommation réelle
280 x qp = 2800 kW
360 x qp = 3600 kVA

En utilisant le multiplicateur de kW (tableau 1), le multiplicateur nécessaire à la correction du facteur de puissance de 0,77 à 0,90 est de 0,345. Le nombre de kilovars nécessaires devient:

multiplicateur de kW x kW
= 0,345 x 2800
= 966 kvar

La correction du facteur de puissance de 0,77 à 0,90 donne une diminution mensuelle de 440 kW (3600 x 0,9 = 3240 - 2800 = 440 kW). A un tarif de demande de 5$ par kW par mois, les épargnes mensuelles s'élèvent à 2200$ et on réalise une épargne de 26 400$ par an. Dans le présent exemple, on applique un tarif à tranches multiples qui ne fait pas entrer en ligne de compte la consommation kWh avec la composante de demande. Si tel était le cas, les économies seraient plus importantes étant donné que l'abaissement de la demande réduirait aussi le prix moyen du kWh. Comme le coût des condensateurs s'élève à 27 198$, la période de remboursement à taux simple est légèrement supérieure à un an.

Dans l'exemple détaillé, les épargnes se sont réparties sur une période de 12 mois. C'était possible dans ce cas parce que la consommation d'électricité de l'édifice n'a pas varié sensiblement au cours de l'année. On ne peut faire cette hypothèse qu'après avoir examiné le sommaire de facturation de 12 mois parce que, on l'a montré dans la feuille des données sur les coûts, le facteur de puissance et par conséquent la clause d'imposition d'amende au facteur de puissance n'est pas nécessairement constant pendant toute l'année. Il est souvent avantageux de corriger le facteur de puissance d'un gros moteur à proximité du moteur même. Cette méthode réduit le courant et par conséquent, les pertes dans le système complet d'approvisionnement du moteur.

On l'a déjà signalé dans la deuxième feuille de correction du facteur de puissance n° 5, une usine utilise un gros moteur électrique triphasé de 200 HP. Les données du fabricant indiquent que le moteur a une efficacité de 90 pour cent et selon la lecture d'un voltampèremètre à pince, il absorbe 199,6 ampères à 600 volts.

Selon le tableau 1, le multiplicateur kW nécessaire à l'amélioration du facteur de puissance de 0,80 à 0,90 est égal à 0,266. Par conséquent:

kvar = kW x multiplicateur
kvar = 0,266 x 165,8 = 44,1 kvar

La demande de facturation est égale à la plus grande des deux quantités suivantes: la demande kVA à un facteur de puissance de 90 pour cent ou kW réel enregistré à 5$ par kW facturé par mois.

kva x 0,9 =
207,2 x 0,9 = 186,5
ou kW = 165,8
Différence = 20,7 kW

En évitant l'amende de 5$ par kW par mois, on épargne chaque mois 20,68 x 5 = 103,40$.

Dans un an, cette épargne devient 103,40$ x 12 (mois) = 1240,80$. Encore une fois, on a appliqué un tarif à tranche simple. Si on appliquait un tarif à tranches variables, les épargnes seraient plus importantes en raison du plus faible coût par kWh.

Le coût de l'installation du condensateur directement sur le circuit du moteur s'est élevé à 1764$ et le remboursement à taux simple = 1764$/1240,80$ par an, soit 1,42 an.

Occasions favorables de modernisation

Les occasions favorables de modernisation sont des mesures d'épargne d'énergie qui peuvent s'appliquer une fois et dont le coût est important. Le présent module a pour objet d'indiquer les secteurs sur lesquels on devrait normalement se pencher et où on pourra vraisemblablement réaliser des épargnes. On a préparé des exemples détaillés pour quelques occasions favorables d'épargne d'énergie tandis que dans d'autres cas, on s'en tient à des commentaires. Suit une liste d'occasions favorables d'épargne d'énergie de la catégorie de modernisation.

1 — Installation d'équipement simple et efficace d'économie de charge
2 — Gestion et contrôle de la demande d'électricité
3 — Restriction des chutes de tension dans les circuits
4 — Remplacement des moteurs ordinaires par des moteurs à grande efficacité énergétique
5 — Remplacement des transformateurs ordinaires par des transformateurs à grande efficacité énergétique
6 — Optimisation de la taille des moteurs électriques
7 — Contrôle du cycle de service ou de la vitesse des moteurs électriques
8 — Utilisation de la chaleur excédentaire des équipements électriques.

Exemples détaillés d'occasions favorables de modernisation

1. Installation d'équipement simple et efficace d'économie de charge

L'installation de minuteries sur l'équipement qui sert seulement à l'occasion peut contribuer à l'abaissement de la demande globale d'électricité. Exemple: si l'on installe des minuteries sur l'équipement de 40 kW de chauffe-eau qui ne contribuera plus aux demandes de pointe, les économies à 5$/kW par mois de demande de pointe seraient de 200$, soit 2400$ par an.

Les effets supplémentaires possibles d'un tarif à tranches variables sont négligeables dans ce cas. Avant d'utiliser une telle méthode, il importe d'effectuer une étude du comportement du chauffe- eau et des dispositifs d'emmagasinage afin de s'assurer de la disponibilité d'eau chaude à toutes les fins prévues. Dans ce cas, l'eau chaude était nécessaire aux douches et aux aménagements sanitaires et l'eau chaude nécessaire était disponible après chaque période de travail mais on n'en avait pas besoin pendant 4 heures de pointe figurant sur le profil de charge quotidienne de pointe. Par conséquent, il n'y avait pas de différence appréciable de consommation d'énergie. Le coût d'installation des minuteries s'élevait aux environs de 3700$. Le remboursement à taux simple du placement devient 3700$ ÷ 2400$ = 1,54 an.

2. Gestion et contrôle de la demande d'électricité

Dans le présent exemple (voir la feuille n° 6), l'aménagement a une demande globale mensuelle de 1800 kW. Une analyse de cette demande a établi qu'elle comporte une grande proportion (1560 kW) de charges essentielles qu'il est impossible de décaler ou de suspendre sans entraver la production. L'examen de la charge établit aussi que 50 kW de chauffage d'eau et 300 kW de chauffage de bains contribuent ensemble à une demande de pointe de 240 kW. En s'aidant de la feuille des économies de charges pour déterminer l'amélioration possible du facteur de puissance par un meilleur contrôle de la demande d'électricité, on a constaté que le chauffage du bain pourrait se réaliser en dehors des 4 heures de pointe quotidienne. Il n'y aurait aucune différence sensible de la consommation d'électricité étant donné que l'installation est bien isolée. Les épargnes estimées de coût d'électricité à 5$/kW de demande de pointe par mois font au total

(5 $ x 240) x 12 = 14 400 $ par an

Le coût des changements à l'installation (ajout d'isolant, de contrôles et d'emmagasinage) s'est élevé à 30 000 $. La période estimée initiale de remboursement est de 2,08 ans.

Si l'on arrive à des conclusions préliminaires telles que celles qui figurent dans l'exemple n° 6 élaboré, on recommande d'approfondir l'analyse.

Une fois que l'analyse préliminaire a signalé la possibilité d'un contrôle de pointe et qu'on a identifié les charges secondaires ou non-essentielles , il s'agit de déterminer la façon de les traiter. Il faut qu'elles puissent continuer de rendre les service qu'on en attend tout en étant différées ou décalées. Dès que cette tâche est menée à bien, elle devrait renseigner sur la nature et le coût de la mise de fonds nécessaire, le cas échéant, pour modifier cette caractéristique de l'équipement. Ainsi, il peut s'avérer nécessaire d'ajouter quelques réservoirs d'emmagasinage d'eau ou de modifier certains circuits électriques.

Les mesures de contrôle qu'il est possible de mettre en oeuvre comprennent:

L'installation d'un système de contrôle d'économie d'énergie

A — Installation d'équipement automatique de délestage de charge

Une simple reprogrammation de quelques charges électriques importantes, comme on l'a dit précédemment, peut s'avérer impossible parce que le système électrique ne peut alimenter que de faibles charges par intervalles. En tels cas, l'installation d'un système à distance limitée ou à fonctions multiples peut abaisser la demande globale d'électricité en débranchant automatiquement ou en laissant tomber les charges secondaires quand la demande s'approche d'une valeur déterminée à l'avance. Comme on l'a vu dans la section << Notions de base >>, la mise en oeuvre d'une telle mesure nécessite une analyse du profil de charge de l'aménagement et des charges qui contribuent aux pointes. L'identification des charges essentielles et non essentielles et leurs caractéristiques de fonctionnement devraient aider à déterminer la possibilité d'installer un dispositif économique de contrôle.

B — Installation d'un système d'emmagasinage thermique

Les pointes électriques résultent souvent des équipements thermiques qui doivent fournir des quantités données de chaleur pendant certaines périodes. Dans certains cas, les pointes de demande de cette nature peuvent être rognées par l'installation de grands aménagements d'emmagasinage servant à la production de chaleur électrique pendant les périodes creuses. Les économies de coûts d'électricité doivent être assez critiques pour justifier l'installation et l'entretien d'un tel système. On trouve plus de renseignements sur cette question dans le module 19 (Emmagasinage thermique) de la présente série.

C — Installation d'un système à deux formes d'énergie

On peut réaliser des économies en utilisant des systèmes et des procédés de chauffage des locaux adaptables à l'utilisation alternative ou simultanée de deux ou plus de deux sources d'énergie. On l'a vu précédemment, un facteur d'importance est la disponibilité de deux tarifs d'énergie provenant des fournisseurs d'énergie électrique et des fournisseurs de gaz. Ces tarifs exigent de l'abonné qu'il utilise deux systèmes distincts qui peuvent satisfaire individuellement tous les besoins de chauffage. Cette formule permet à l'abonné d'utiliser son équipement de chauffage électrique pendant les heures creuses de la société de service public.

3 — Freinage des chutes de tension

Comme on l'a signalé précédemment, les chutes importantes de tension réduisent l'efficacité énergétique des moteurs, des systèmes d'éclairage et de la plupart des autres équipements électriques. En clair, en freinant les chutes de tension, on obtient de meilleurs résultats de l'équipement utilisé et on en prolonge la durée utile. La vérification des chutes de tension au moyen d'un voltampèremètre à pince ou d'un multimètre est une méthode pratique de diagnostiquer les difficultés d'exploitation. Les lectures de tension peuvent se prendre à proximité du tableau d'entrée ou à proximité de la charge. Si, par exemple, ces lectures de tension sont de 240 volts et 215 volts respectivement, le pourcentage de chute de potentiel devient

$$\frac{240 - 215}{240} \times 100 = 10{,}4\%$$

Ce résultat révèle que les difficultés qu'on éprouve avec les équipements branchés à ce circuit pourraient résulter de l'insuffisance de la taille des conducteurs qui produit une chute importante de tension.

4 — Remplacement des moteurs ordinaires par des moteurs à grand rendement énergétique

La feuille n° 7 sur les moteurs à grand rendement énergétique à la fin de la présente section compare le remplacement d'un moteur par un modèle ordinaire semblable ou par un modèle à grand rendement énergétique.

Dans cet exemple, la différence d'efficacité entre un moteur à grand rendement et un moteur standard est de 94 - 89 = 5%. Le coût de l'énergie est de 0,05$ par kWh et le supplément de coût d'un moteur à grand rendement énergétique est de l'ordre de 450$. La période de remboursement à taux simple est donc de 1,6 an. Les moteurs électriques ont la réputation d'être très efficaces. Bien que ce soit le cas, le supplément de coût des moteurs à grand rendement énergétique est souvent compensé par les économies de courant qui donnent des périodes de remboursement acceptables. C'est le cas en particulier des moteurs dont le facteur de charge est relativement élevé et qui fonctionnent au voisinage de leur puissance nominale de sortie. Le lecteur trouvera plus de renseignements sur cette question dans le module 4 (Moteurs électriques à grand rendement énergétique) de la présente série.

5 — Remplacement des transformateurs ordinaires par des transformateurs à grand rendement énergétique

La feuille n° 8 de calcul des transformateurs à grand rendement énergétique se rapproche de celle qui compare les deux types de moteurs. Exemple: un directeur d'usine doit envisager de remplacer un transformateur de 400 kVA par un transformateur standard (dont l'efficacité est de 93 pour cent) ou par un transformateur à grande efficacité énergétique (97 pour cent) moyennant un supplément de 4000$. Les lectures au moyen d'appareils de mesures à pince figurant dans le données du fabricant révèlent que ce transformateur a une charge de 80 pour cent. Il fonctionne pendant environ 4000 heures par an. La feuille montre que le supplément de coût du transformateur à grand rendement énergétique de 400 kVA se compense en un peu plus d'un an. On a supposé que le kWh coûte 0,07$. Si l'énergie électrique coûtait deux fois moins cher, soit 0,035$ par kWh, la période de remboursement à taux simple serait tout juste au-delà de deux ans.

6 — Optimisation de la taille et de l'application des moteurs électriques

Les moteurs électriques trop gros fonctionnent généralement à faible rendement et ils ont un faible facteur de puissance. Un examen du réseau de distribution électrique peut aider à déceler les cas de surcharge de moteur auxquels on peut remédier, parfois en relocalisant certains des moteurs en question. Les données de l'examen peuvent aussi servir à choisir le moteur approprié quand il s'agit de remplacer des moteurs existants. Une analyse des caractéristiques de charge peut également permettre à l'usager de choisir avec le concours du fabricant le type approprié de moteur pour une application donnée.

7 — Contrôle du cycle de service et de la vitesse des moteurs électriques

Comme on l'a vu précédemment dans la section sur l'équipement, il est parfois possible de réduire le coût global de l'électricité en utilisant des moteurs dont le service est cyclé à l'avance et qui sont munis de contrôles de vitesse. L'utilisation d'entraînements à fréquence réglable statique sur les systèmes d'entraînement de pompe peut comporter plusieurs avantages dont une grande efficacité à toutes les vitesses d'utilisation de la pompe, un abaissement des coûts d'exploitation et un entretien préventif considérablement simplifié à cause de l'inverseur et de la protection accrue du moteur au moyen de dispositifs électroniques.

8 — Mise à profit des pertes de chaleur de l'équipement électrique

Certains édifices mettent à profit les pertes thermiques des transformateurs des sous-stations à couvert et les font contribuer au chauffage de l'édifice. De la même façon, des échangeurs de chaleur convenablement situés peuvent aider au transfert de la chaleur d'un endroit à un autre pour chauffer des locaux ou préchauffer des liquides.

ANNEXES

A Glossaire
B Tableaux
C Tableaux de conversion
D Feuilles de travail

Glossaire

Ampère — Unité de courant électrique. Un courant d'un ampère traverse une résistance d'un ohm quand on y applique un potentiel d'un volt.

Ampèremètre — Instrument servant à mesurer le courant électrique en ampères.

Capacité — Propriété des circuits électriques d'emmagasiner une charge électrique.

Charge compensée — Expression de l'égalité relative des courants dans toutes les phases d'un circuit à phases multiples et de l'égalité des tensions entre les phases et entre chaque phase et le point neutre, le cas échéant.

Charge de pointe — Demande maximale qui se produit dans un réseau électrique pendant une période de temps donné.

Charges essentielles — Charges électriques dans un édifice ou une usine qui conservent leur priorité au moment de la restriction de la demande de pointe ou dans les cas d'urgence.

Charges non essentielles — Charges qu'on peut différer pendant les pointes d'énergie ou pendant les urgences.

Chute de tension — Différence entre la tension à l'entrée et la tension aux bornes de la charge.

Circuit — Conducteur ou groupe de conducteurs disposés de manière à fournir un trajet ininterrompu au passage du courant.

Condensateur — Élément de circuit composé de deux plaques métalliques séparées par un diélectrique, servant à emmagasiner provisoirement des charges électriques.

Conducteur — Matériau contenant des électrons libres qui permettent au courant de circuler par l'application d'une tension à un circuit fermé.

Coupe-circuit — Appareil servant à la protection d'un circuit électrique contre les surcharges par l'ouverture du circuit à des limites fixées d'avance. On le remet en place quand la cause de la surcharge est dissipée.

Courant — Mouvement des électrons dans un conducteur.

Courant alternatif — Courant électrique dont le sens change à intervalle régulier dans un circuit.

Courant continu — Courant électrique dont le mouvement est toujours dans le même sens.

Courant en avance — Courant alternatif qui, pendant chaque demi-cycle, atteint sa valeur maximale une fraction de cycle plus tôt que la tension qui le fait circuler.

Courant retardé — Courant alternatif qui, pendant chaque demi-cycle atteint sa valeur maximale une fraction de cycle plus tard que la tension qui le fait circuler.

Courants de Foucault — Courants qui se déplacent dans une masse de matériau conducteur par l'induction de tensions résultant de variations du flux magnétique dans ce matériau.

Cycle — Série complète des valeurs (positives et négatives) par lesquelles passe une tension ou un courant alternatif, qui se produit entre deux points de départ consécutifs.

Degré-jour — On compte un degré-jour (C) quand la température extérieure moyenne d'une journée ou durée de 24 heures est d'un degré C en—dessous de 18 degrés C qui représente la température extérieure moyenne.

Demande — Valeur moyenne de l'énergie par rapport à un intervalle de temps donné.

Demande de facturation — Demande appliquée par le fournisseur d'énergie pour établir la note d'électricité.

Demande maximale — La demande la plus élevée (kW) mesurée au cours d'une durée donnée.

Efficacité — Quotient de la valeur à la sortie par la valeur à l'entrée d'un dispositif ou d'une machine.

Emmagasinage thermique — Emmagasinage d'énergie thermique à utiliser ultérieurement. Il peut servir à la réduction de la demande électrique.

Énergie — Produit de la puissance par le temps.

Énergie jumelée — Désignation des systèmes qui peuvent utiliser deux formes d'énergie alternativement ou simultanément.

Entrée de service — Endroit où l'énergie électrique pénètre dans un édifice ou une usine.

Facteur de charge — Rapport de la charge moyenne pendant une durée donnée à la demande maximale pendant cette durée.

Facteur de puissance — Rapport de la puissance réelle à la puissance apparente.

Farad — Unité pratique de capacité.

Fusible — Dispositif servant à la protection des circuits électriques au moyen d'un conducteur fragile. Un fusible est normalement détruit par une surcharge; il faut donc le remplacer pour remettre le circuit en marche.

Henry — Unité pratique d'inductance.

Impédance — Opposition totale au passage du courant dans un circuit à courant alternatif.

Indicateur de maximum — Compteur qui indique ou enregistre la demande, la demande maximale ou l'un et l'autre; ordinairement en kW.

Inductance — Propriété d'un circuit électrique de s'opposer à tout changement de courant.

Isolateurs — Matériaux privés d'électrons libres qui ne laissent pas facilement passer le courant.

Ligne d'alimentation — Conducteur raccordant le tableau de distribution aux charges électriques.

Montage en delta — Montage électrique qui, sur un diagramme conventionnel de circuit, a la forme d'un triangle qui ressemble au delta grec.

Montage en étoile — Montage électrique qui, sur les diagrammes conventionnels de circuits, ressemble à la lettre Y.

Moyenne quadratique — Valeur efficace (RMS) du courant ou de la tension; c'est la racine carrée du carré moyen des valeurs instantanées.

Pertes dans le fer — Total de l'énergie nécessaire pour échauffer le noyau d'un transformateur; elles comprennent l'énergie nécessaire à la magnétisation du noyau en sens alternativement opposés (hystérésis) et l'énergie dissipée par les courants de Foucault qui circulent dans le noyau.

Pertes par hystérésis — Énergie nécessaire à la magnétisation du noyau quand le flux magnétique change de sens.

Puissance active — Produit de la tension et du courant qui est en phase avec la tension.

Puissance apparente — Produit de la tension par le courant; exprimée en volts-ampères (VA) dans les circuits à courant alternatif.

Puissance réactive — Composante déphasée du total de volts-ampères dans un circuit à courant alternatif; elle comprend la réactance inductive et la réactance capacitive.

Réactance capacitive — Opposition au passage du courant dans un circuit à courant alternatif par une capacité; elle s'exprime en ohms.

Réactance inductive — Opposition au passage du courant dans un circuit à courant alternatif par inductance; elle s'exprime en ohms.

Régulation de la puissance appelée — Régulation, ordinairement par des moyens électromécaniques, destinée à limiter ou diminuer la demande créée par un réseau électrique.

Résistance — Opposition au passage du courant dans un matériau. Elle s'exprime en ohms.

Résistivité — Résistance spécifique d'un matériau. Dans le système SI, elle s'exprime en ohm-mètre à une température donnée.

Semi-conducteurs — Substances qui ne sont ni bons conducteurs ni bons isolateurs.

Structure des tarifs — Liste complète des frais exigés pour les différentes unités d'énergie électrique consommée par un abonné.

Tarif par tranches — Tarif dans lequel l'énergie et/ou la demande est facturée en un nombre prédéterminé d'unités ou tranches.

Vars -Volts—ampères réactifs.

Volt — Unité de différence de potentiel ou de force électromotrice. Un volt fait passer un ampère dans une résistance d'un ohm.

Voltmètre — Appareil de mesure de la tension électrique.

Watt — Unité de puissance. C'est la puissance dissipée quand un courant d'un ampère franchit une résistance d'un ohm.

Wattheure — Unité d'énergie électrique. Il est égal à l'énergie produite par un watt pendant une heure.

Tableau 1

Multiplicateurs kW pour établir les kilovars de capacitance nécessaires à la correction du facteur de puissance

Facteur de puissance original	Facteur de puissance corrigé																			
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.166	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.988	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.358	1.418	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.158	1.190	1.227	1.268	1.318	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.850	0.887	0.913	0.940	0.963	0.998	1.024	1.054	1.065	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.988	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.750	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.168	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.935	0.970	1.004	1.041	1.062	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.705	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.648	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.656	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.836	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.605	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.804	0.838	0.872	0.909	0.905	0.998	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.968	1.026	1.189
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.408	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.766	0.827	0.875	0.935	1.078
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.688	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.040
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.348	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.636	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.188	0.212	0.238	0.264	0.290	0.318	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.548	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.194	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.163	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.163	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.154	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80	0.000	0.026	0.052	0.076	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.264	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.490	0.547	0.609	0.750
0.81		0.000	0.026	0.052	0.076	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.681	0.724
0.82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.166	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.389	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83				0.000	0.026	0.052	0.062	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87								0.000	0.027	0.058	0.063	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89										0.000	0.028	0.056	0.088	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.308	0.389	0.512
0.90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91												0.000	0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.458
0.92													0.000	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93														0.000	0.032	0.068	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94															0.000	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95																0.000	0.037	0.079	0.126	0.184	0.329
0.96																	0.000	0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																		0.000	0.048	0.108	0.251
0.98																			0.000	0.060	0.203
0.99																				0.000	0.143

Tableau 2

FIL EN ALUMINIUM ET FIL MASSIF EN CUIVRE NU

GROSSEUR		DIAMÈTRE		SURFACE		Poids net approximatif du câble				Résistance nominale C.C. (25°C)			
						kg/1000 m		lb/1000 pi		Ohms/1000 m		Ohms/1000 pi	
AWG	Mils Circ.	mm	in	mm^2	po^2	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
30	100	0.254	0100	0.051	000078	0.451		303		344.5		105.0	
29	128	0.287	0113	0.065	000100	0.576		387		273.6		83.4	
28	159	0.320	0126	0.080	125	0.716		481		217.2		66.2	
27	202	0.361	0142	0.102	158	0.908		610		172.2		52.5	
26	253	0.404	0159	0.128	199	1.14		765		136.5		41.6	
25	320	0.455	0179	0.162	252	1.44		970		108.3		33.0	
24	404	0.511	0201	0.205	317	1.82		1.22		86.0		26.2	
23	511	0.574	0226	0.259	401	2.31		1.55		68.2		20.8	
22	640	0.643	0253	0.324	503	2.88		1.94		54.1		16.5	
21	812	0.724	0285	0.412	638	3.66		2.46		42.9		13.1	
20	1020	0.813	0320	0.519	804	4.61	1.40	3.10	942	33.9	55.6	10.3	16.9
19	1290	0.912	0359	0.653	00101	5.81	1.77	3.90	1.19	26.9	44.2	8.21	13.5
18	1620	1.024	0403	0.823	128	7.32	2.22	4.92	1.49	21.4	35.0	6.1	10.7
17	2050	1.151	0453	1.04	161	9.24	2.81	6.21	1.89	16.9	27.7	5.15	8.45
16	2580	1.290	0508	1.31	203	11.6	3.53	7.81	2.38	13.4	22.1	4.10	6.72
15	3260	1.450	0571	1.65	256	14.7	4.47	9.87	3.00	10.6	17.5	3.24	5.32
14	4110	1.628	0641	2.08	323	18.5	5.63	12.4	3.78	8.44	13.8	2.57	4.22
13	5180	1.829	0720	2.63	407	23.4	7.10	15.7	4.77	6.69	11.0	2.04	3.35
12	6530	2.052	0808	3.31	513	29.4	8.94	19.8	6.01	5.31	8.72	1.62	2.66
11	8230	2.304	0907	4.17	646	37.1	11.3	24.9	7.57	4.22	6.92	1.29	2.11
10	10380	2.588	1019	5.26	816	46.8	14.2	31.4	9.56	3.34	5.48	1.02	1.67
9	13090	2.906	1114	6.63	01028	59.0	17.9	39.6	12.0	2.65	4.35	0.808	1.33
8	16510	3.264	1285	8.37	1297	74.4	22.6	50.0	15.2	2.10	3.45	.640	1.05
7	20820	3.665	1443	10.55	1635	93.8	28.5	63.0	19.2	1.67	2.73	.508	0.833
6	26240	4.115	1620	13.30	2061	118.2	35.7	79.4	24.1	1.32	2.17	.403	.661
5	33090	4.620	1819	16.77	2599	149.0	45.3	100.2	30.5	1.05	1.72	.320	.524
4	41740	5.189	2043	21.15	3278	188.0	57.2	126.3	38.4	0.831	1.36	.253	.416
3	52620	5.827	2294	26.67	4133	237.1	72.1	159.3	48.4	0.659	1.08	.201	.330
2	66360	6.543	2576	33.62	5212	298.9	90.9	200.9	61.1	0.523	0.858	.159	.261
1	83690	7.348	2893	42.41	6573	377.0	114.6	253.3	77.0	0.415	0.680	.126	.207
1/0	105600	8.252	3249	53.51	8291	475.5	144.6	319.5	97.2	0.329	0.539	.100	.164
2/0	133100	9.266	3648	67.44	1045	599.5	182.3	402.8	122.5	0.261	0.428	.0795	.130
3/0	167800	10.40	4096	85.02	1318	755.8	229.8	507.8	154.4	0.207	0.339	.0635	.103
4/0	211600	11.68	4600	107.22	1662	953.2	289.8	640.5	194.7	0.164	0.269	.0500	.082
250MCM		2.09	0822	126.68	1963	1150	350	772	235	0.142	0.232	.0432	.0708
300		2.31	0900	152.01	2356	1377	419	925	281	0.118	0.194	.0360	.0590
350		2.47	0973	177.34	2749	1610	490	1082	329	0.101	0.166	.0308	.0506
400		2.64	1040	202.68	3142	1840	560	1236	376	0.0885	0.145	.0270	.0442
500		2.95	1162	253.36	3927	2296	698	1543	469	0.0708	0.116	.0216	.0354
600		2.52	0992	304.02	4712	2760	839	1854	564	0.0590	0.0967	.0180	.0295
750		2.82	1109	380.03	5890	3447	1048	2316	704	0.0472	0.0774	.0144	.0236
1000		3.25	1280	506.70	7854	4592	1396	3086	938	0.0354	0.0580	.0108	.0177
1250		2.98	1172	633.38	9817	5740	1750	3860	1174	0.0283	0.0464	.00863	.0142
1500		3.26	1284	760.05	1.178	6890	2100	4630	1410	0.0236	0.0387	.00719	.0118
1750		2.98	1174	886.73	1.374	8040	2440	5400	1640	0.0202	0.0332	.00616	.0101
2000		3.19	1255	013.40	1.571	9190	2790	6180	1880	0.0177	0.0290	.00539	.00885

canada wire

Les données sur les conducteurs et les équivalents métriques de ce tableau sont basés autant que possible selon les recommandations de l'EEMAC en vigueur au moment de la compilation. si non selon les normes publiées de l'IPCEA

Tableau 3
Fil isolé

Type d'isolation	Nbre de conducteurs	Service	Tension	Grosseur des fils
Câble gainé non metallique (nylon & PCV)	2 – 3 cuivre	Câblage exposé et caché; milieu mouillé ou sec; non exposé au bris mécanique	300 V	2 – 14
PCV	1 cuivre	Câblage exposé, câblage de bouton et tube caché; milieu sec ou mouillé	600 V	14 – 500
Polyéthylène	1 cuivre alum.	Câblage exposé et canalisé; milieu sec ou mouillé; exposé aux intempéries	600/ 1000 V	14 –2000
Polyéthylène épais	1 cuivre alum.	enfouissement direct dans le sol; câblage exposé d'entrée de service	1000 V	14 –2000
PCV & nylon	1 cuivre	Fil de construction tout usage	600 V	14 – 500
PCV	2–3 cuivre	Pompes submersibles	600 V	14 –410
Câble blindé (blindage en alum. ou acier) et polyéthylène	2–3–4 cuivre ou alum.	Câblage exposé ou caché; milieu sec	600 / 1000 V	14 –1000
Câble blindé avec gaine de polyéthylène	1 multi cuivre ou alum.	Câblage exposé ou caché; milieu sec ou mouillé; enfouissement direct	600 / 1000V	14 –100

Remarque: Si l'on considère remplacer un conducteur par un équivalent, il faut obtenir l'approbation des autorités locales responsables de l'appplication du Code canadien de l'électricité.

Tableau 4
Comparison approximative des options sur les transformateurs

TYPE	LIQUIDE				SEC						
Numéro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					Standard ventilé à "enroulement ouvert"					Non-ventilé	
Description	Huile	Silice	R-temp	Vapeur/ Cond	Classe 220	Classe 185	Classe 150	Epoxy imprégné à vide	Epoxy moulé	"Enroul. ouvert" non vent.	Gaz scellé monté
Prix relatif en %											
5 & 15 kV	100*	140*	130*	?	90	110	120	130	200	160	200
25 kV**	100*	140*	130*		130	—	—	140	210	170	210
Size relatif											
5 & 15 kV	1.00	1.00	1.15	.95	0.90	1.05	1.10	1.05	1.05	1.60	1.60
25 kV**	1.00	1.05	1.15	.96	1.10	1.15	1.20	1.15	1.10	1.80	1.80
Pertes relatives											
5 & 15 kV	1.00	1.00	1.00	?	1.30	1.15	1.05	1.15	1.10	1.05	1.05
Performance											
Humidité	E	E	E	E	B	B	B	B	B	B	E
Forte humidité	E	E	E	E	F	F	F	F	F	B	E
Saletés	B	B	B	B	F	F	F	F	F	B	E
Poussière conductrice	E	E	E	E	N	N	N	N	N	F	E
Manutention brusque	B	B	B	B	F	F	F	B	B	F	E

NOTES:
* = ajouter le prix de la structure
** = supposer 25 kV sec, 125 bil

CODES: E = Excellent
B = Bon
F = Faible
N = Non utilisé

Tableau 5
Comparison générale des types de lampes

Type	Lumens/Watt (plage)	Vie de l'ampoule heures	Service — Caractéristiques
Incandescence	15 – 20	1,200 / 1,500	Toutes puissances, inefficaces, certain caractère esthétique, p.f. unitaire
Fluorescence	50 – 75	20,000 / 38,000	Grande variété, efficacité moyenne, p.f. fonction de qualité
Vapeur de mercure (DHI)	25 – 65	20,000 / 24,000	Remplacé par d'autres types DHI, efficacité moyenne
Halogénures (DHI)	80 – 125	7,500 / 20,000	Plusieurs usages, efficaces, lampes de l'avenir
Sodium à haute pression (DHI)	95 – 140	24,000	Petite dimension, bon contrôle optique, bonne couleur, lampe de l'avenir
Sodium à basse pression	135 – 180	24,000	Plus grande efficacité, faible qualité lumineuse, certains usages à l'extérieur

Remarque: D.H.I. = Lampes à décharche de haute intensité. Dans ces cas, la lumière est produite dans un tube à arc par un courant à une pression relativement élevée en comparaison à la pression dans un tube fluorescent.

Tableau 6
Réchauffeurs électriques

Type	Service et caractéristiques	Coût relatif
Immersion	Chauffage des liquides, transfert direct de chaleur	**M**
Circulation	Chauffage des liquides et des gaz, rapide	**M**
Air de procédés	Chauffage de l'air, polyvalent	**F**
Irradiation	Confort et procédés, rapide, polyvalent	**M**
Procédés	Bandes, tubes, cartouches, bagues, disques, fondus, usages spécialisés	**F & M**
Câble	Traçage, chauffage de tuyaux	**F**
Antidéflagrant	Milieux dangereux, sûr	**E**
Divers	Pots de fonte, plaques chauffantes et fours	**F & M**

LÉGEND: *F= Coût faible*
M= Coût moyen
E= Coût élevé

CONVERSIONS COURANTES

1 baril (35 gal imp.) (42 gal U.S.)	= 159,1 litres
1 gallon (imp.)	= 1,20094 gallon (U.S.)
1 cheval vapeur (chaudière)	= 9809,6 watts
1 cheval vapeur	= 2545 Btu/heure
1 cheval vapeur	= 0,746 kilowatts
1 joule	= 1 N-m
Kelvin	= (°C + 273,15)
1 kilowatt-heure	= 3600 kilojoules
1 Newton	= 1 Kg-m/s^2
1 thermie	= 10^5 Btu
1 tonne (réfrigérant)	= 12002,84 Btu/heure
1 tonne (réfrigérant)	= 3516,8 watts
1 watt	= 1 joule/seconde
degré Rankine	= (°F + 459,67)

Cubes

1 v^3	= 27 pi^3
1 pi^3	= 1728 po^3
1 cm^3	= 1000 mm^3
1 m^3	= 10^6 cm^3
1 m^3	= 1000 L

Carrés

1 v^2	= 9 pi^2
1 pi^2	= 144 po^2
1 cm^2	= 100 mm^2
1 m^2	= 10000 cm^2

PRÉFIXES SI

Préfixe	Symbole	Valeur numérique	Exposant
téra	T	1 000 000 000 000	10^{12}
giga	G	1 000 000 000	10^9
méga	M	1 000 000	10^6
kilo	k	1 000	10^3
hecto	h	100	10^2
déca	da	10	10^1
déci	d	0,1	10^{-1}
centi	c	0,01	10^{-2}
milli	m	0,001	10^{-3}
micro	u	0,000 001	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	10^{-12}

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS MÉTRIQUES EN UNITÉS IMPÉRIALES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/centimètre carré	A/cm^2	ampère/pouce carré	A/po^2	6,452
degré Celsius	°C	degré Fahrenheit	°F	(°C × 9/5) + 32
centimètre	cm	pouce	po	0,3937
centimètre cube	cm^3	pouce cube	po^3	0,06102
mètre cube	m^3	pied cube	pi^3	35,314
gramme	g	once	oz	0,03527
gramme	g	livre	lb	0,0022
gramme/litre	g/L	livre/pied cube	lb/pi^3	0,06243
joule	J	Btu	Btu	$9,480 \times 10^{-4}$
joule	J	pied-livre	pi-lb	0,7376
joule	J	cheval vapeur-heure	cv-h	$3,73 \times 10^{-7}$
joule/mètre, (Newton)	J/m, N	livre	lb	0,2248
kilogramme	kg	livre	lb	2,205
kilogramme	kg	tonne (longue)	tonne	$9,842 \times 10^{-4}$
kilogramme	kg	tonne (courte)	tn	$1,102 \times 10^{-3}$
kilomètre	km	mille	mille	0,6214
kilopascal	kPa	atmosphère	atm	$9,87 \times 10^{-3}$
kilopascal	kPa	pouce de mercure (32°F)	po de Hg	0,2953
kilopascal	kPa	pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	4,0147
kilopascal	kPa	livre/pouce carré	lb/po^2	0,1450
kilowatt	kW	pied-livre/seconde	pi-lb/s	737,6
kilowatt	kW	cheval vapeur	cv	1,341
kilowatt-heure	kWh	Btu	Btu	3413
litre	L	pied cube	pi^3	0,03531
litre	L	gallon (imp.)	gal (imp.)	0,21998
litre	L	gallon (U.S.)	gal (U.S.)	0,2642
litre/seconde	L/s	pied cube/minute	pi^3/min	2,1186
lumen/mètre carré	lm/m^2	lumen par pied carré	lm/pi^2	0,09290
lux, lumen/mètre carré	lx, lm/m^2	pied bougie	pi-b	0,09290
mètre	m	pied	pi	3,281
mètre	m	verge	yd	1,09361
partie par million	ppm	grain/gallon (imp.)	gr/gal (imp.)	0,07
partie par million	ppm	grain/gallon (U.S.)	gr/gal (U.S.)	0,05842
perméance (métrique)	PERM	perméance (imp.)	perm	0,01748
centimètre carré	cm^2	pouce carré	po^2	0,1550
mètre carré	m^2	pied carré	pi^2	10,764
mètre carré	m^2	verge carré	v^2	1,196
tonne (métrique)	t	livre	lb	2204,6
watt	W	Btu/heure	Btu/h	3,413
watt	W	lumen	lm	668,45

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
ampère/po^2	A/po^2	ampère/cm^2	A/cm^2	0,1550
atmosphère	atm	kilopascal	kPa	101,325
British Thermal Unit	Btu	joule	J	1054,8
Btu	Btu	kilogramme-mètre	kg-m	107,56
Btu	Btu	kilowatt-heure	kWh	$2{,}928 \times 10^{-4}$
Btu/heure	Btu/h	watt	W	0,2931
calorie, gramme	cal ou	g-cal joule	J	4,186
chaîne	chaîne	mètre	m	20,11684
pied cube	pi^3	mètre cube	m^3	0,02832
pied cube	pi^3	litre	L	28,32
pied cube/minute	pi^3/m	litre/seconde	L/s	0,47195
cycle/seconde	c/s	Hertz	Hz	1,00
degré Fahrenheit	°F	degré Celsius	°C	(°F-32)/1,8
pied	pi	mètre	m	0,3048
pied bougie	pi-b	lux, lumen/ mètre carré	lx, lm/m^2	10,764
pied lambert	pi-L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,42626
pied-livre	pi-lb	joule	J	1,356
pied-livre	pi-lb	kilogramme-mètre	kg-m	0,1383
pied livre/seconde	pi-lb/s	kilowatt	kW	$1{,}356 \times 10^{-3}$
gallon (imp.)	gal (imp.)	litre	L	4,546
gallon (U.S.)	gal (U.S.)	litre	L	3,785
grain/gallon (imp.)	gr/gal(imp.)	partie par million	ppm	14,286
grain/gallon (U.S.)	gr/gal(U.S.)	partie par million	ppm	17,118
cheval vapeur	cv	watt	W	745,7
cheval vapeur-heure	cv-h	joule	J	$2{,}684 \times 10^{6}$
pouce	po	centimètre	cm	2,540
pouce de mercure (32°F)	po de Hg	kilopascal	kPa	3,386
pouce d'eau (4°C)	po d'H_2O	kilopascal	kPa	0,2491

TABLES DE CONVERSION DES UNITÉS IMPÉRIALES EN UNITÉS MÉTRIQUES (CONT.)

DE	SYMBOLE	À	SYMBOLE	VALEUR NUMÉRIQUE
lambert	L*	candela/mètre carré	cd/m^2	3,183
lumen/pied carré	lm/pi^2	lumen/mètre carré	lm/m^2	10,76
lumen	lm	watt	W	0,001496
mile	mille	kilomètre	km	1,6093
once	oz	gramme	g	28,35
perm (0°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,721 \times 10^{-11}$
perm (23°C)	perm	kilogramme par pascal-seconde-mètre carré	$kg/(Pa\text{-}s\text{-}m^2)$ (PERM)	$5,745 \times 10^{-11}$
perm-pouce (0°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4532 \times 10^{-12}$
perm-pouce (23°C)	perm-po	kilogramme par pascal-seconde-mètre	kg/(Pa-s-m)	$1,4593 \times 10^{-12}$
chopine (imp.)	chopine	litre	L	0,56826
livre	lb	gramme	g	453,5924
livre	lb	joule/mètre (Newton)	J/m N	4,448
livre	lb	kilogramme	kg	0,4536
livre	lb	tonne (métrique)	t	$4,536 \times 10^{-4}$
livre/pied cube	lb/pi^3	gramme/litre	g/L	16,02
livre/pouce carré	lb/po^2	kilopascal	kPa	6,89476
pinte	pinte	litre	L	1,1365
slug	slug	kilogramme	kg	14,5939
pied carré	pi^2	mètre carré	m^2	0,09290
pouce carré	po^2	centimètre carré	cm^2	6,452
verge carré	v^2	mètre carré	m^2	0,83613
tonne (longue)	ton	kilogramme	kg	1016
tonne (courte)	tn	kilogramme	kg	907,185
verge	v	mètre	m	0,9144

* "L" tel qu'utilisé dans l'éclairement.

Les valeurs typiques qui suivent peuvent servir de facteurs de conversion quand les données réelles manquent. Les équivalents en MJ et en BTU correspondent à la chaleur de combustion. Les chiffres applicables aux hydrocarbures correspondent à la valeur calorifique la plus élevée (poids humide). Certains produits sont de toute évidence des matières premières, mais ont été inclus au tableau pour le rendre plus complet et pour servir de référence. Les facteurs de conversion pour le charbon sont approximatifs puisque la valeur calorifique de ce produit varie selon la mine d'où il a été extrait.

TYPE D'ÉNERGIE	MÉTRIQUE	IMPÉRIAL
CHARBON		
— métallurgique	29 000 mégajoules/tonne	$25{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
— anthracite	30 000 mégajoules/tonne	25.8×10^6 BTU/tonne
— bitumineux	32 100 mégajoules/tonne	$27{,}6 \times 10^6$ BTU/tonne
— sous-bitumineux	22 100 mégajoules/tonne	$19{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
— lignite	16 700 mégajoules/tonne	$14{,}4 \times 10^6$ BTU/tonne
COKE		
— métallurgique	30 200 mégajoules/tonne	$26{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
— pétrolier		
— brut	23 300 mégajoules/tonne	$20{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
— calciné	32 600 mégajoules/tonne	$28{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
POIX	37 200 mégajoules/tonne	$32{,}0 \times 10^6$ BTU/tonne
PÉTROLE BRUT	38,5 mégajoules/litre	$5{,}8 \times 10^6$ BTU/baril
MAZOUT N° 2	38,68 mégajoules/litre	$5{,}88 \times 10^6$ BTU/baril $0{,}168 \times 10^6$ BTU/GI
PÉTROLE N° 4	40,1 mégajoules/litre	$6{,}04 \times 10^6$ BTU/baril $0{,}173 \times 10^6$ BTU/GI
PÉTROLE N° 6 (MAZOUT LOURD C)		
— 2,5% soufre	42,3 mégajoules/litre	$6{,}38 \times 10^6$ BTU/baril $0{,}182 \times 10^6$ BTU/GI
— 1,0% soufre	40,5 mégajoules/litre	$6{,}11 \times 10^6$ BTU/baril $0{,}174 \times 10^6$ BTU/GI
— 0,5% soufre	40,2 mégajoules/litre	$6{,}05 \times 10^6$ BTU/baril $0{,}173 \times 10^6$ BTU/GI
KÉROSÈNE	37,68 mégajoules/litre	$0{,}167 \times 10^6$ BTU/GI
DIESEL	38,68 mégajoules/litre	$0{,}172 \times 10^6$ BTU/GI
GAZOLINE	36,2 mégajoules/litre	$0{,}156 \times 10^6$ BTU/GI
GAZ NATUREL	37,2 mégajoules/m^3	$1{,}00 \times 10^6$ BTU/M pi^3
PROPANE	50,3 mégajoules/kg 26,6 mégajoules/litre	$0{,}02165 \times 10^6$ BTU/lb $0{,}1145 \times 10^6$ BTU/GI
ÉLECTRICITÉ	3,6 mégajoules/kWh	$0{,}003413 \times 10^6$ BTU/kWh

Données sur les coûts de l'électricité
Section: Occasions dans le milieu
Problème N° 1

Compagnie: _____ Date: _____

Endroit: _____ Par: _____

Mois	kWh	Demande en kW réelle	fact.	kVA	Coûts total en $ tot.	par unité	Jours d.
Jan.							
Fév.							
Mar.							
Avr							
[illegible]							
Jui							
Juil.							
Août							
Sep.							
Oct.							
Nov.							
Déc.							
Total							

Liste de vérification des arrêts
Section: Occasions dans le milieu
Problème n^{o} 2

Équipement **Temps d'arrêt**

am pm am
8–9–10–11–12–1–2–3–4–5–6–7–8–8–10–11–12–1–2–3–4–5–6–7

Zone d'usine 1
Compresseurs
Éclairage
Autre

Zone d'usine 2
Entretien Ateliers
Pompes
Éclairage
Autre

Bureau 1
Affichages
Éclairage
Autre

Bureau 2
Laboratoires
Éclairage
Appareils
Autre

Entrepôt
Éclairage

Éclairage extérieur
Stationnement 1
Stationnement 2
Éclairage de la cour
Lampes-projecteurs

Reprogrammation des activitées
Section : Occasions dans le milieu
Problème nº 3

Compagnie : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

Analyse du profil de charge

Période(s) de pointe: _____

kW de pointe : _____

Charges aux pointes: _____

Type	kW	kW	Remarques concernant possibilités de reprogrammation

kW totaux : _____

Réduction totale possible : _____ kW

Coûts des kW de pointe, par mois :

Épargnes mensuelles prévues ($) : kW x coût en $ / mois = _____

_____ = _____

Correction du facteur de puissance
Section : Modernisation
Problème nº 4

Compagnie :_____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

Lecture kVA (pendant période de facturation) : _____ kVA

Lecture kVA (pendant période de facturation): _____ kW

Consommation réelle: kW x multiplicateur général:

_____ = _____

Consommation réelle: kVA x multiplicateur général:

_____ = _____

Facteur de puissance actuel = kW / kVA = _____ = _____

p.f. recherché. = _____

D'après le tableau 1 : (multiplicateur kW) ;

Pour passer d'un p.f. _____ à un p.f. de _____ = _____

Condensateurs nécessaires = kW x multiplicateur (tableau 1) =

_____ = _____

Épargnes mensuelles :

Demande facturée(le plus élevé de) :
pointe réelle mensuelle kW = _____
pointe réelle mensuelle kVA x p.f. (dans le tarif) = _____
autres kW (comme un clique) = _____

Demande corrigée = _____

kW épargnes = demande facturée – demande corrigée =

_____

$ économisés à $ /kW = _____ = _____

Ou épargnes = facture du mois précédent – facture après p.f. corrigé = _____

Épargnes par an = _____ = _____

Remboursement à taux simple: coût des condensateurs : _____ = _____ an
épargnes annuelles

Correction du facteur de puissance du moteur
Section : Modernisation
Problème nº 5

Compagnie : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

Données sur le moteur: Numéro de série : _____

kW à l'entrée: _____ x _____ : _____ = _____ kW

kVA a l'entrée : $\frac{\text{x} \quad \text{x}}{1000}$ = _____ kVA

Facteur de puissance : $\frac{\text{kW à l'entrée}}{\text{kVA à l'entrée}}$: = f.p.

Facteur de puissance recherché _____ = p.f.

D'après le tableau 1 (multiplicateur kW) : _____

Pour passer d'un p.f. _____ à _____ p.f. de = _____

Condensateurs nécessaires: kW x multiplicateur (tableau 1) =

_____ = _____

Épargnes mensuelles :

Demande facturée (la plus élevée de) :

pointes mensuelles réelles en kW = _____

pointes mensuelles réelles en kVA x p.f. (dans les tarifs) = _____

autre kW (comme un cliquet) = _____

Demande corrigée = _____

kW économisés = demande facturée – demande corrigée = _____

$ épargnés à / kW = _____ = _____

Ou épargnes = facture du mois précédent – facture après f.p. corrigé = _____

Épargnes annuelle = _____ = _____

Remboursement à taux simple : $\frac{\text{coût des condensateurs}}{\text{épargne par année}}$:= _____ an

Économie de la charge électrique
Section : Modernisation
Problème nº 6

Compagnie : _____ _____ Date : _____

Endroit: _____ Par : _____

Liste des charges non essentielles :

Charge	Période d'opération Pointe	Hors pointe	Taux kW
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
Charge essentielles totales :	_____	_____	_____

Liste des charges non essentielles :

Charge	Période d'opération Pointe	Hors pointe	Taux kW
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Demande de pointe réelle telle que facturé par le service: ____ kW
Possibilité de réduction (kW) de pointe:
Demande de pointe facturée - charges essentielles totales (kW)

_____
Épargnes prévues : possibilité (kW) x coût / kW / mois

_____
Coût prévu en $ de la réduction de pointe : ____ $
Premier estimatif de la période de remboursement : $\frac{\text{coût}}{\text{épargnes x 12}}$ ans

_____ = _____ ans

Moteurs d'efficacité énergétique
Section : Modernisation
Problème nº 7

Compagnie : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

Numéro de série du moteur : _____

HP d'après la plaque d'identification : _____ HP (1)

Coût annuel moyen d'énergie par kWh
(d'après la feuille de travail sur les coûts) : _____ $/kWh (2)

Efficacité du moteur actuel
(mesurée ou d'après la plaque) : _____ % (3)

Efficacité pour le nouveau moteur
(d'après le fabricant) : _____ % (4)

Supplément pour le nouveau moteur : _____ $ (5)

Nombre d'heures d'opération par années : _____ h/an (6)

Charge mesurée du moteur : _____ % (7)

Épargnes / an :

$$\frac{\text{HP} \times 0.746 \times \%\text{ de charge} \times \text{coût moyen d'énergie}}{100} \times \frac{h}{an} \times \left(\frac{1}{(3)} - \frac{1}{(4)}\right):$$

$$\frac{(1) \times 0.746 \times (7) \times (2) \times (6)}{100} \times \left(\frac{1}{(3)} - \frac{1}{(4)}\right): \quad (8)$$

Épargnes : _____ = _____

Remboursement à taux simple: coût / épargnes : (5) / (8)

_____ = _____

Légende : e.a. = efficacité du moteur actuel
n.e. = efficacité du nouveau moteur

Transformateurs d'efficacité énergétique
Section : Modernisation
Problème nº 8

Compagnie : _____ Date : _____

Endroit : _____ Par : _____

Numéro de série du transformateur : _____

Puissance du transformateur (kW) : _____ kW (1)

Coût annuel moyen d'énergie par kWh
(d'après la feuille de travail sur les coûts) : _____ $/kWh (2)

Efficacité du transformateur actuel
(d'après le fabricant) : _____ % (3)

Efficacité du noveau transformateur
(d'aprés le fabricant) : _____ % (4)

Supplément pour le nouveau transformateur e.é. : _____ $ (5)

Nombre d'heures d'opération par année : _____ h/an (6)

Charge mesurée du transformateur : _____ % (7)

Épargnes/an :

$$\frac{\text{kW} \times \% \text{ de charge}}{100} \times \frac{\text{coût moyen d'énergie}}{\text{an}} \times \text{h} \times \left(\frac{1}{(3)} - \frac{1}{(4)}\right) :$$

$$\frac{(1) \times (7)}{100} \times (2) \times (6) \times \left(\frac{1}{\text{p.e.}} - \frac{1}{\text{n.e.}}\right) : \quad (8)$$

Épargnes : _____ = _____

Remboursement à taux simple: coût/épargnes : (5) / (8)

_____ = _____

Légende : e. a. = efficacité du transformateur
n. e. = efficacité du nouveau transformateur